المجلد 22 ـ العددان 2/1
يناير/ فبراير 2006

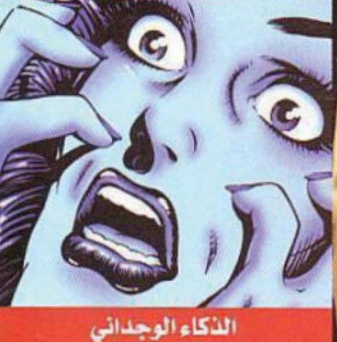


SCIENTIFIC
AMERICAN
January/ February 2006

الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي



تقانة Wi-Fi الذكية



الذكاء الوجداني



مسرعات

العددان 214/213 - السعر: 1.500 دينار كويتي

العلوم — المجلد 22 ـ العددان 2/1 — يناير/فبراير 2006 — Majallat AlOloom

المقالات

ترجمة أو مراجعة

«مجلة العلوم» تصدر شهرياً في الكويت منذ عام 1986 عن «مؤسسة الكويت للتقدم العلمي»، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت. وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لـ«ساينتفيك أمريكان» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ، غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ، المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «ساينتفيك أمريكان» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيم للصور والرسوم الملونة والجداول

استخدام أذكى للنفايات النووية(*)

تستطيع مفاعلات النيوترونات السريعة استخلاص المزيد من طاقة الوقود النووي المعاد تدويره، والحد من خطورة انتشار الأسلحة النووية، وكذلك اختصار الزمن اللازم لعزل النفايات النووية.

<W. H. هانوم> ـ <G. E. مارش> ـ <G. S. ستانفورد>

على الرغم من القلق العام القديم حول أمان الطاقة النووية، فإن كثيرًا من الناس أخذوا يدركون أنها قد تكون أكثر طرق توليد كميات كبيرة من الكهرباء رفقا بالبيئة. تقوم عدة دول ـ من بينها البرازيل والصين ومصر وفنلندا والهند واليابان وباكستان وروسيا وكوريا الجنوبية وڤيتنام ـ ببناء منشآت نووية، أو تخطط لبنائها. ولكن هذا التوجه العام لم يمتد حتى الآن إلى الولايات المتحدة، حيث تعود آخر الأعمال في منشآت كهذه إلى ما قبل 30 عاما.

قد تكون الطاقة النووية بالفعل، فيما إذا طوّرت بطريقة حساسة، مستدامة لا تنضب، وقد يمكن تشغيلها دون أن تسهم في تغيير المناخ. وهناك على وجه الخصوص شكل جديد نسبيا من التقانة النووية قد يتغلب على المثالب الأساسية للطرق الحالية: أي القلق من حوادث المفاعلات، واحتمال تحويل الوقود النووي إلى أسلحة شديدة الفتك، وإدارة النفايات المشعة الخطيرة والطويلة العمر، واستنزاف احتياطيات اليورانيوم العالمية المجدية اقتصاديا. ستجمع دورة الوقود النووي هذه بين اختراعين: المعالجة التعدينية الحرارية[1] (طريقة عالية الحرارة لإعادة تدوير نفايات المفاعلات وتحويلها إلى وقود) ومفاعلات نيوترونات سريعة متقدمة تستطيع حرق ذلك الوقود. يمكن بهذه المقاربة أن ينخفض النشاط الإشعاعي للنفايات المتولدة إلى مستويات آمنة خلال بضع مئات من السنين، مزيلا بذلك الحاجة إلى عزلها لعشرات الآلاف من السنين.

ولكي تستطيع النيوترونات إحداث انشطارات نووية بفعالية يجب أن تكون حركتها إما بطيئة أو عالية السرعة. تضم معظم منشآت الطاقة النووية الموجودة حاليا ما يدعى مفاعلات حرارية[2]، وهي تشغّل بنيوترونات ذات سرعة (أو طاقة) منخفضة نسبيا تصطدم مرتدة عن قلب المفاعل. وعلى الرغم من أن المفاعلات الحرارية تنتج الحرارة ـ ومن ثم الكهرباء ـ بكفاءة عالية، فإنها غير قادرة على تقليل النفايات المشعة الناتجة إلى الحد الأدنى.

تنتج جميع المفاعلات الطاقة بشطر نوى ذرات فلز ثقيل (ذي وزن ذريّ عال)، وبشكل رئيسي اليورانيوم أو عناصر مشتقة منه. يوجد اليورانيوم في الطبيعة كخليط من نظيرين: اليورانيوم 235 القابل للانشطار بسهولة (ويقال إنه «انشطاري» fissile) واليورانيوم 238 الأكثر استقرارا بكثير.

يتم قدح نار اليورانيوم في مفاعل ذري والمحافظة على أوارها بوساطة النيوترونات. عندما تُصدم نواة ذرة انشطارية بنيوترون، وخاصة بنيوترون بطيء، فإنها ستنفلق على الأرجح (تنشطر) محررة بذلك كميات كبيرة من الطاقة وعدة نيوترونات أخرى. يمكن عندئذ لبعض هذه النيوترونات المنبعثة أن تصدم ذرات انشطارية مجاورة أخرى مسببة انقسامها ومولدة بذلك تفاعلا نوويا متسلسلا[3]. تُنقل الحرارة الناتجة إلى خارج المفاعل حيث تحوّل الماء إلى بخار يستخدم لتشغيل عنفات تقود مولدات كهربائية.

واليورانيوم 238 ليس مادة انشطارية، وإنما يسمى «قابلا للانشطار» لأنه قد ينفلق أحيانا عند قذفه بنيوترون سريع. كما يقال أحيانا إنه **خصب** fertile لأنه عندما تمتص ذرة يورانيوم 238 نيوترونا من دون أن تنشطر، فإنها تتحول إلى البلوتونيوم 239، وهو بدوره انشطاري مثل اليورانيوم 235 ويمكن له المحافظة على بقاء تفاعل متسلسل. بعد نحو ثلاث سنوات من التشغيل، عندما ينزع الفنيّون الوقود المستهلك عادة من أحد المفاعلات الحالية بسبب تدني حالته نتيجة الإشعاع واستنفاد اليورانيوم 235 منه، فإن البلوتونيوم يسهم في أكثر من نصف ما تولده المنشأة من كهرباء.

يتم إبطاء (أو تهدئة) النيوترونات في مفاعل حراري ـ والتي تكون سريعة عند ولادتها ـ من خلال تأثراتها مع الذرات المجاورة ذات الوزن الذري المنخفض مثل الهدروجين في الماء الذي يتدفق عبر قلب المفاعل. وجميع المفاعلات النووية التجارية الـ440 أو نحوها، باستثناء مفاعلين اثنين،

(*) العنوان الأصلي: SMARTER USE OF NUCLEAR WASTE
(1) pyrometallurgical processing
(2) thermal reactors
(3) nuclear chain reaction

حرارية، ومعظمها ـ بما فيها مفاعلات الطاقة الأمريكية الـ103 ـ تستعمل الماء لإبطاء النيوترونات ولنقل الحرارة المتولدة بالانشطار إلى المولدات الكهربائية المرافقة. ومعظم هذه الأنظمة الحرارية هي ما يدعوه المهندسون مفاعلات ماء خفيف[1].

في جميع منشآت الطاقة النووية تُستهلَك ذرات الفلز الثقيل «باحتراق» الوقود. ومع أن المنشآت تبدأ بوقود غني بمحتواه من اليورانيوم 235، فإن معظم ذلك اليورانيوم السهل الانشطار ينضب بعد نحو ثلاث سنوات. وعندما ينزع الفنيّون الوقود المستنفد[2] فإن نحو جزء واحد فقط من عشرين جزءا من الذرات القابلة للانشطار (اليورانيوم 235 والبلوتونيوم واليورانيوم 238) يكون قد استهلك، ومن ثم فإن ما يسمى الوقود المستهلك مازال يحوي نحو 95% من طاقته الأصلية. إضافة إلى ذلك، يحوِّل قرابة العُشر فقط من خام اليورانيوم المستخرج من المناجم إلى وقود خلال عملية الإثراء (التي يتم خلالها زيادة ملموسة في تركيز اليورانيوم 235). وبذلك فإن أقل من واحد في المئة من إجمالي المحتوى الطاقي للخام يستخدم لتوليد الطاقة في المنشآت الحالية.

تعني هذه الحقيقة أن الوقود المستخدم الناتج من المفاعلات الحرارية الحالية ما زال يملك القدرة على إيقاد الكثير من النار النووية. ولما كانت موارد اليورانيوم في العالم محدودة، والعدد المتنامي باستمرار من المفاعلات الحرارية قد يستنفد احتياطيات اليورانيوم المتوافرة المنخفضة التكلفة خلال بضعة عقود، فمن غير المعقول أن يرمى بهذا الوقود المستهلك أو «البقايا» المتبقية من عملية الإثراء.

يتألف الوقود المستهلك من ثلاثة أصناف من المواد: نواتج الانشطار التي تشكل نحو 5 في المئة من الوقود المستخدم، وهي النفاية الحقيقية أو رماد النار الانشطارية إن شئت. وهي تتكوّن من مزيج من عناصر أخف نشأت عندما انشطرت الذرات الثقيلة. يكون هذا المزيج ذا نشاط إشعاعي عال في البداية لعدة سنوات، وبعد عقد أو نحوه يغلب على النشاط الإشعاعي نظيران: السيزيوم 137 والسترونسيوم 90. وكلاهما يذوب في الماء، ومن ثم يجب احتواؤها بشكل مأمون تماما. يضمحل النشاط الإشعاعي لهذين النظيرين في ثلاثة قرون تقريبا بعامل 1000 وعندها يزول خطرهما عمليا.



يشكل اليورانيوم معظم الوقود النووي المستهلك (نحو 94 في المئة)، وهو يورانيوم غير منشطر يكون قد فقد معظم ما يحويه من اليورانيوم 235، وهو يشابه اليورانيوم الطبيعي (الذي يحوي بالكاد 0.71 في المئة من اليورانيوم 235 الانشطاري). هذا المكوّن متوسط النشاط الإشعاعي، وعند فصله عن نواتج الانشطار وباقي المواد في الوقود المستهلك يمكن خزنه بسهولة للاستخدام المستقبلي بشكل آمن ضمن منشآت محمية عادية.

إن الجزء الموازن من المواد ـ وهو الجزء الذي يشكل مشكلة فعلية ـ يشمل **عناصر ما بعد اليورانيوم** transuranic، وهي عناصر أثقل من اليورانيوم[3]. وهذا الجزء من الوقود عبارة عن مزيج من نظائر البلوتونيوم مع قدر ملموس من **الأمريشيوم** americium. وعلى الرغم من أن نظائر ما بعد اليورانيوم لا تشكل سوى واحد في المئة من الوقود المستهلك فإنها تشكل المصدر الأساسي لمشكلة النفايات النووية الحالية. يمتد عمر النصف لهذه الذرات (أي الفترة الزمنية التي ينتصف فيها النشاط الإشعاعي) حتى عشرات الآلاف من السنين، وهذه الخاصية جعلت المنظّمين في حكومة الولايات المتحدة يفرضون أن يعزل مخزن النفايات النووية العالية المستوى المزمع إنشاؤه في جبل يوكا بنيفادا الوقود المستهلك لفترة تزيد على عشرة آلاف سنة.

---

(1) light-water reactors

(2) يُعرَف الاستنفاد depletion بأنه النسبة المئوية للنقص في عدد الذرات القابلة للانشطار في مجموعات الوقود نتيجة لاستهلاكها في المفاعل النووي.

(3) العناصر الترانسيورانية، أو عناصر ما بعد اليورانيوم transuranic elements هي ما يلي اليورانيوم من عناصر في الجدول الدوري، أي ما يزيد عدده الذري على 92. (التحرير)

استراتيجية بالية[*]

توقع المهندسون النوويون الأوائل أنه سيجري فصل البلوتونيوم المتشكل في وقود المفاعلات الحرارية المستهلك ومن ثم يعاد استخدامه في مفاعلات النيوترونات السريعة والتي تسمى مفاعلات ولودة سريعة[1]؛ لأنها مصممة لإنتاج بلوتونيوم أكثر مما تستهلك. تصوّر رواد الطاقة النووية أيضا اقتصادا يتضمن تجارة حرة بالبلوتونيوم. بيد أن البلوتونيوم يصلح للاستخدام في صنع القنابل. ومع انتشار التقانة النووية خارج الدول العظمى الرئيسية فإن هذا الاستخدام المحتمل أدى إلى قلق من انتشار الأسلحة الذرية بشكل غير قابل للسيطرة عليه إلى دول أخرى أو حتى إلى مجموعات إرهابية.

عالجت اتفاقية عدم الانتشار النووي هذه المعضلة جزئيا عام 1986. يمكن للدول الراغبة في جني فوائد تقانة الطاقة النووية أن توقّع الاتفاقية وتعد بألا تحوز أسلحة نووية؛ وبناء على ذلك توافق الأمم التي تمتلك أسلحة على مساعدة الآخرين في تطبيقاتها السلمية. ورغم أن كادرا (فريقا) cadre من المفتشين الدوليين قام منذئذ بمراقبة التزام الأعضاء بالاتفاقية، فإن فعالية هذه الاتفاقات الدولية كانت متفاوتة لأنها افتقرت إلى السلطة الفعالة ووسائل التنفيذ الجبري.

يحتاج مصممو الأسلحة النووية إلى بلوتونيوم ذي محتوى عال جدا من نظير البلوتونيوم 239، في حين يحتوي البلوتونيوم الناتج من منشآت الطاقة التجارية عادة على مقادير ملموسة من نظائر بلوتونيوم أخرى مما يجعلها صعبة الاستخدام في قنبلة. ومع ذلك فإن استخدام البلوتونيوم الموجود في الوقود المستهلك في الأسلحة ليس أمرا يستحيل تصوره. لذلك فقد حظر الرئيس الأمريكي السابق <جيمي كارتر> إعادة المعالجة المدنية للوقود النووي في الولايات المتحدة عام 1977. وقد برّر ذلك بأنه مادام لم يجر بعد استعادة البلوتونيوم من الوقود المستهلك، فإنه لا يمكن استخدامه لصنع قنابل. أراد <كارتر> أيضا أن تكون أمريكا مثالا لباقي العالم، ولكن فرنسا واليابان وروسيا والمملكة المتحدة لم تحذُ حذوه، ولذلك فإن إعادة معالجة البلوتونيوم لاستخدامه في منشآت الطاقة مستمرةٌ في عدد من الدول.

مقاربة بديلة[**]

عندما أُصدر الحظر كانت «إعادة المعالجة» مرادفا لطريقة «بوريكس» PUREX (مصطلح مشتق من استخلاص البلوتونيوم واليورانيوم)[2]، وهي تقانة تم تطويرها لاستيفاء الحاجة إلى بلوتونيوم نقي كيميائيا لأغراض الأسلحة الذرية. ولكن مفاعلات النيوترونات السريعة الحديثة تتيح استراتيجية إعادة تدوير بديلة لا تتضمن بلوتونيوم نقيا في أي مرحلة. لذلك فإن المفاعلات السريعة تخفض خطورة استخدام الوقود المستهلك الناتج من توليد الطاقة في إنتاج الأسلحة إلى أدنى حد ممكن، وتؤمّن في الوقت نفسه مقدرة فريدة على استخراج أكبر قدر من الطاقة من الوقود النووي [*انظر الإطار في الصفحة 8*]. أنشئت عدة مفاعلات كهذه لتوليد الطاقة - في فرنسا واليابان وروسيا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة. ومازال اثنان منها قيد التشغيل [انظر: *«الجيل التالي من الطاقة النووية»*، **العلوم**، العددان 6/5 (2002)، ص 4].

تستطيع المفاعلات السريعة استخلاص قدر أكبر من طاقة الوقود النووي مقارنة بالمفاعلات الحرارية لأن نيوتروناتها المتحركة بسرعة (طاقة أعلى) تسبب انشطارات ذرية أكثر مما تفعل النيوترونات الحرارية البطيئة. تعود هذه الكفاءة إلى ظاهرتين: أولا، عند سرعات بطيئة يُمتَص عدد أكبر بكثير من النيوترونات في تفاعلات غير انشطارية وتُفقَد. ثانيا، تعمل الطاقة الأعلى لنيوترون سريع على زيادة احتمال انشطار ذرة فلز ثقيل خصب - مثل اليورانيوم 238 - عند صدمها. وبسبب هذه الحقيقة فلن يكون اليورانيوم 235 والبلوتونيوم 239 فقط مرجّحين لأن ينشطرا في مفاعل سريع، ولكنّ قدرا ملحوظا من ذرات ما بعد اليورانيوم الثقيلة سيقوم بذلك أيضا.

لا يمكن استخدام الماء في مفاعل سريع لنقل الحرارة من القلب، لأنه سوف يبطئ النيوترونات السريعة. لذا يستخدم المهندسون عادة فلزا سائلا مثل الصوديوم كمبرّد وناقل للحرارة. يتمتع الفلز السائل بميزة واحدة كبيرة مقارنة بالماء: تعمل المنظومات المبردة بالماء تحت ضغط عال جدا بحيث إنّ تشققا صغيرا قد يتطور بسرعة إلى إطلاقات كبيرة

نظرة إجمالية/ إعادة التدوير النووي[***]

- بغية التقليل من ارتفاع حرارة الكرة الأرضية العالمي بأكبر قدر ممكن، قد تحتاج البشرية إلى توليد القدر الأكبر من الطاقة مستقبلا باستعمال تقانات الطاقة النووية، وهي لا تطلق أي ثنائي أكسيد الكربون بذاتها.
- في حال إنشاء المزيد من منشآت الطاقة النووية الحرارية (أو النيوترونات البطيئة) الحالية فإن الاحتياطيات العالمية من اليورانيوم المنخفض الثمن ستنضب في بضعة عقود. إضافة إلى ذلك فإن كميات كبيرة من النفايات العالية النشاط الإشعاعي المتولدة فقط في الولايات المتحدة يجب تخزينها لعشرة آلاف سنة على الأقل، وهي أكثر بكثير مما يمكن وضعه في مدفن جبل يوكا في نيفادا. والأسوأ من ذلك أن معظم الطاقة التي يمكن استخلاصها من اليورانيوم الأصلي ستكون قد ادّخرت في النفايات.
- إن استعمال دورة وقود نووي جديدة وأكثر فعالية بكثير - تستند إلى مفاعلات النيوترونات السريعة وإعادة تدوير الوقود المستهلك عبر المعالجة المعدنية الحرارية - سيتيح استخدام قدر أكبر بكثير من طاقة اليورانيوم الموجود في الأرض لإنتاج الكهرباء. ستقلل دورة كهذه توليد نفايات المفاعلات الطوية العمر ويمكنها أن تدعم توليد الطاقة النووية إلى ما لانهاية.

An Outdated Strategy (*)
An Alternative Approach (**)
Overview / Nuclear Recycling (***)
fast breeder reactors (1)
plutonium uranium extraction (2)

نوع جديد من المفاعلات النووية(*)

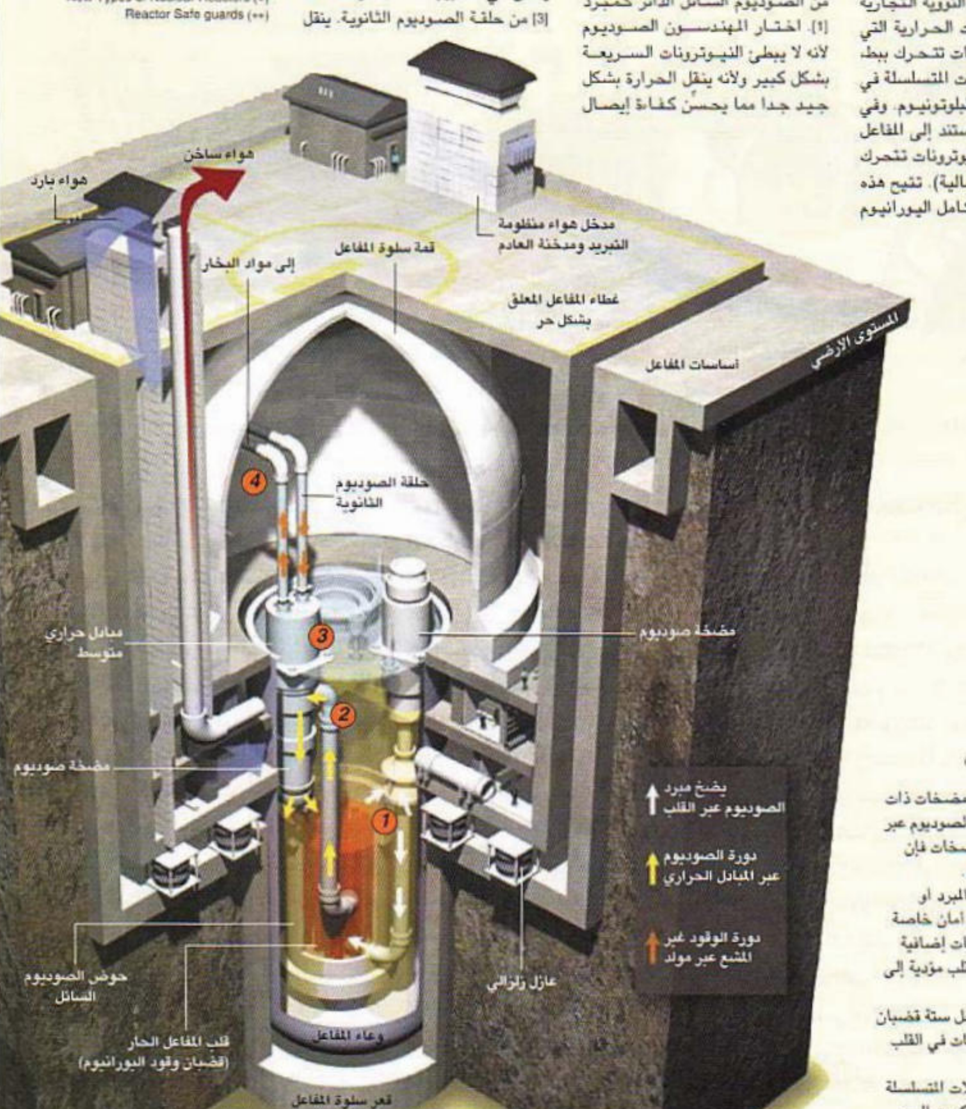
قد تستند دورة طاقة نووية أكثر أمانا واستدامة إلى تصميم مفاعلات الفلز السائل المتقدمة (ALMR) الذي جرى تطويره في ثمانينيات القرن العشرين في مختبر أركون الوطني. وكجميع منشآت الطاقة الذرية فإن منظومة تستند إلى المفاعل ALMR ستستخدم تفاعلات نووية متسلسلة في القلب لإنتاج الحرارة اللازمة لتوليد الكهرباء.

وما يميز المنشآت النووية التجارية الحالية هو المفاعلات الحرارية التي تعتمد على نيوترونات تتحرك ببطء نسبيا لنشر التفاعلات المتسلسلة في وقود اليورانيوم والبلوتونيوم. وفي المقابل فإن منظومة تستند إلى المفاعل ALMR ستستخدم نيوترونات تتحرك بسرعة (ذات طاقة عالية). تتيح هذه العملية استهلاك كامل اليورانيوم والذرات الأثقل متيحة بذلك التقاط قدر أكبر بكثير من طاقة الوقود. وسيحرق المفاعل الجديد وقودا مصنّعا من إعادة تدوير وقود المفاعلات الحرارية المستهلك.

وفي معظم تصاميم المفاعلات الحرارية يغمر الماء القلب ليبطئ (يهدئ) النيوترونات ويبقيه باردا. أما المفاعل ALMR فهو يستخدم حوضا من الصوديوم السائل الدائر كمبرد [1]. اختار المهندسون الصوديوم لأنه لا يبطئ النيوترونات السريعة بشكل كبير ولأنه ينقل الحرارة بشكل جيد جدا مما يحسّن كفاءة إيصال الحرارة إلى منشأة توليد الكهرباء.

وسيعمل مفاعل سريع على النحو التالي: تؤدي النار النووية المتقدة في القلب إلى تسخين الصوديوم السائل المشع المار فيه. يضخ بعض الصوديوم المسخّن إلى مبادل حراري متوسط [2] حيث سينقل الطاقة الحرارية إلى الصوديوم السائل غير المشع الذي يتدفق في الأنابيب اللاصقة والمنفصلة [3] من حلقة الصوديوم الثانوية. ينقل الصوديوم غير المشع بدوره [4] الحرارة إلى مبادل الحرارة النهائي/ مولد البخار (غير ظاهر) حيث يجري توليد البخار في الأنابيب المجاورة المملوءة بالماء. يستعمل البخار الساخن العالي الضغط بعدئذ لإدارة توربينات (عنفات) بخارية تُشغّل المولدات المنتجة للكهرباء. (غير ظاهر).

New Types of Nuclear Reactors (*)
Reactor Safe guards (**)



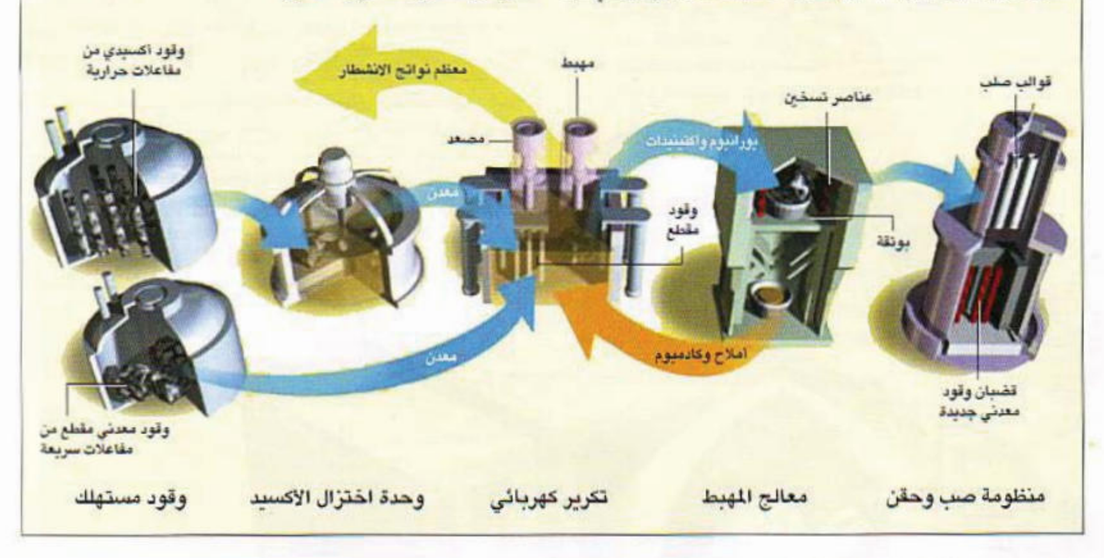
ضمانات المفاعل(**)

- خلال التشغيل تدفع مضخات ذات استطاعة عالية مبرد الصوديوم عبر القلب. إذا تعطلت المضخات فإن الجاذبية ستدير المبرد.
- إذا تعطلت مضخات المبرد أو توقفت، فإن تجهيزات أمان خاصة ستتيح أيضا لنيوترونات إضافية التسرب إلى خارج القلب مؤدية إلى خفض حرارته.
- في حال الطوارئ تدخل ستة قضبان تحكم ماصة للنيوترونات في القلب لإيقافه فورا.
- وإذا استمرت التفاعلات المتسلسلة فإن آلاف الكرات من كربيد البور سترمى في القلب ما يضمن إيقافه.

طريقة جديدة لإعادة استخدام الوقود النووي(*)

إن المدخل إلى إعادة التدوير التعديني الحراري للوقود النووي هو إجراءات **التكرير الكهربائي** electro-refining. تنزع هذه العملية النفايات الحقيقية، أي نواتج الانشطار، من اليورانيوم والبلوتونيوم والأكتينيدات الأخرى (عناصر مشعة ثقيلة) في الوقود النووي. تبقى الأكتينيدات ممتزجة مع البلوتونيوم بحيث لا يمكن استخدامه مباشرة في الأسلحة.

سيخضع الوقود المستهلك من المفاعلات الحرارية الحالية (أكسيد اليورانيوم والبلوتونيوم) أولا إلى اختزال الأكسيد لتحويله إلى فلز، في حين يذهب وقود اليورانيوم والبلوتونيوم الفلزي من المفاعلات السريعة مباشرة إلى المكرر الكهربائي. يشابه التكرير الكهربائي الطلاء الكهربائي: يغطس الوقود النووي المرتبط بمهبط في حمام كيميائي. يطلي التيار الكهربائي اليورانيوم والأكتينيدات الأخرى على المصعد. ثم ترسل العناصر المستخلصة إلى معالج المصعد لنزع ما تبقى من أملاح وكادميوم بعد التكرير. أخيرا يسبك اليورانيوم المتبقي والأكتينيدات في قضبان وقود طازج، ويعاد تدوير الأملاح والكادميوم.



من البخار، وربما إلى كسر خطير في أنبوب مسببا فقدانا سريعا لمبرد المفاعل. أما منظومات الفلز السائل فتعمل تحت الضغط الجوي، لذلك فهي تشكل احتمالاً أقل بكثير لحدوث إطلاق كبير. مع ذلك فإن الصوديوم يشتعل عند تعرضه للماء، مما يوجب إدارته بحذر. لقد تكدّست خبرة صناعية ملموسة بالتعامل مع هذه المادة عبر السنين، كما تطورت طرق الإدارة بصورة جيدة. ومع ذلك فقد حدثت حرائق صوديوم، ودون شك سيكون هناك المزيد. بدأت إحدى حرائق الصوديوم عام 1995 في مفاعل مونجو السريع في اليابان. وقد أدى ذلك إلى إفساد بناء المفاعل، ولكنه لم يشكل قط تهديدا لسلامة المفاعل ولم يتأذّ أحد أو يتعرض للإشعاع. لا يعتبر المهندسون قابلية الصوديوم للاشتعال مشكلة كبيرة.

بدأ باحثون في مختبر أرگون الوطني بتطوير تقانة المفاعلات السريعة في خلال خمسينات القرن العشرين، ثم وجهت هذه الأبحاث في الثمانينات نحو مفاعل سريع (سُمّي مفاعل الفلز السائل المتقدم[1] ALMR) ذي وقود فلزي مبرد بفلز سائل كان سيدمج مع وحدة معالجة تعدينية حرارية ذات حرارة عالية بهدف إعادة تدوير الوقود وإعادة تعبئته. تتبّع المهندسون النوويون أيضا عدة أفكار أخرى للمفاعلات السريعة يستخدم بعضها وقود اليورانيوم أو البلوتونيوم الفلزي، في حين يستخدم بعضها الآخر وقودا أكسيديا. استخدمت مبردات من الرصاص المنصهر ومحلول الرصاص-بيزموث. يعد الوقود الفلزي المستخدم في المفاعل ALMR ذا أفضلية على الأكاسيد لعدة أسباب: فهو يتمتع ببعض ميزات الأمان، ويسمح بتوليد وقود جديد بصورة أسرع ويمكن مزاوجته مع إعادة التدوير التعديني الحراري بصورة أسهل.

المعالجة الحرارية(**)

تستخلص المعالجة المعدنية الحرارية (اختصارا: پيرو pyro، أو المعالجة الحرارية) من الوقود المستخدم مزيجا من عناصر ما بعد اليورانيوم بدلا من البلوتونيوم الصرف كما في طريقة پوريكس. وهي تستند إلى طلاء كهربائي، أي استخدام الكهرباء لتجميع فلز مستخلص بشكل أيونات من حمام كيميائي على قطب فلزي موصل (ناقل). وقد اشتق اسمها من درجات الحرارة العالية التي يجب تعريض الفلزات لها خلال العملية. جرى تطوير مقاربتين متشابهتين: إحداهما في الولايات المتحدة والأخرى في روسيا. الفرق الرئيسي هو أن الروس يعالجون وقودا سيراميكيا (أكسيدا)، في حين أن الوقود في المفاعل ALMR فلزي.

(*) New Way To Use Nuclear Fuel
(**) Pyroprocessing
(1) the advanced liquid-metal reactor

في المعالجة الحرارية الأمريكية [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*] يقوم الفنيون بحل الوقود الفلزي المستهلك في حمّام مائي، ثم يقوم تيار كهربائي قوي بتجميع انتقائي البلوتونيوم وعناصر ما بعد اليورانيوم الأخرى مع بعض نواتج الانشطار والكثير من اليورانيوم على قطب كهربائي. تبقى معظم نواتج الانشطار وبعض اليورانيوم في الحمّام. عندما تتجمع دفعة كاملة يقوم الفنيون بنزع الأقطاب وكشط المواد المتجمعة عن القطب وصهرها ثم يصبونها في قالب، ويرسل القالب إلى خط إعادة تصنيع لتحويلها إلى وقود مفاعل سريع. عندما يشبع الحمّام بنواتج الانشطار يقوم الفنيون بتنظيف المحلول ويعالجون نواتج الانشطار المستخلصة بغية التخلص الدائم منها.

لذلك - وخلافا لطريقة بوريكس الحالية - فإن المعالجة الحرارية تجمع عمليا جميع عناصر ما بعد اليورانيوم (بما فيها البلوتونيوم) مع جزء ملموس من اليورانيوم ونواتج الانشطار. وينتهي قدر صغير جدا من مكوّن ما بعد اليورانيوم في مجرى النفايات النهائي مما يقلل الزمن اللازم للعزل بشكل كبير. إن تجميع نواتج الانشطار مع مواد ما بعد اليورانيوم غير ملائم للأسلحة ولا حتى لوقود المفاعلات الحرارية. من ناحية ثانية، لا يعد هذا المزيج مقبولا فقط وإنما هو مفيد في وقود المفاعلات السريعة.

وعلى الرغم من أن تقانة إعادة التدوير التعديني الحراري ليست جاهزة تماما للاستخدام التجاري الفوري فإن الباحثين بينوا مبادئها الأساسية، وتم عرضها بنجاح على مستوى الريادة في منشآت طاقة عاملة في كل من الولايات المتحدة وروسيا. ولكنها لم تعمل بعد على نطاق الإنتاج الكامل.

مقارنة الدورات[*]

تتشابه الإمكانات التشغيلية للمفاعلات السريعة والحرارية من عدة أوجه، ولكن الفروق جسيمة في نواح أخرى [*انظر الإطار في الصفحة 10*]. فعلى سبيل المثال تنتج منشأة مفاعل حراري قدرته الكهربائية 1000 ميغاواط أكثر من 100 طن من الوقود المستهلك في السنة. على النقيض من ذلك فإن النفايات المتولدة سنويا من مفاعل سريع له نفس الاستطاعة الكهربائية، تتجاوز بقليل الطن الواحد من نواتج الانشطار، إضافة إلى كميات ضئيلة من عناصر ما بعد اليورانيوم.

ستكون إدارة النفايات باستخدام دورة المفاعل ALMR مبسّطة بشكل كبير. ولما كانت نفايات المفاعلات السريعة لا تحوي كميات ملموسة من عناصر ما بعد اليورانيوم طويل عمر النصف، فإن إشعاعها سيتفكك إلى مستوى الفلز الذي استخرج منه خلال بضع مئات من السنين بدلا من عشرات الألوف.

إذا استخدمت حصرا المفاعلات السريعة فإن نقل المواد ذات النشاط الإشعاعي العالي لن يجرى إلا في حالتين: عند نقل نفايات نواتج الانشطار إلى جبل يوكا أو موقع بديل للتخلص منها، أو عند نقل وقود الإقلاع إلى مفاعل جديد. إن تجارة البلوتونيوم ستكون فعليا قد أزيلت.

يدافع بعض الناس بأن الولايات المتحدة تعمل على برنامج مكثف لمعالجة الوقود المستهلك بطريقة بوريكس التي تنتج مزيجا من أكاسيد اليورانيوم والبلوتونيوم لإعادتها إلى مفاعلات حرارية. وعلى الرغم من أن طريقة مزيج الأكاسيد MOX[1] تستخدم حاليا لإتلاف فائض بلوتونيوم الأسلحة بحيث يمتنع استخدامه في قنابل - وهي فكرة جيدة - فإننا نعتقد أنه من الخطأ نشر البنية التحتية لبوريكس الأكبر بكثير التي ستلزم لمعالجة الوقود المدني. إن كسب الموارد سيكون متوسطا، في حين تبقى مشكلة النفايات الطويلة المدى، وجميع هذه الجهود لن تؤجل الحاجة إلى مفاعلات سريعة فعالة إلا لفترة قصيرة فقط.

إن منظومة مكونة من مفاعل سريع والمعالجة الحرارية متعددة المزايا بشكل استثنائي. يمكن لها أن تكون مستهلكا



تستخلص عناصر اليورانيوم والأكتينيدات من وقود مفاعلات حرارية مستهلك وتطلى على مصعد وحدة تكرير كيميائية خلال إجراء معالجة حرارية. بعد معالجة أخرى يمكن حرق الوقود الفلزي في مفاعلات النيوترونات السريعة.

صرفا للبلوتونيوم أو منتجا صرفا له، كما يمكن تشغيلها في نمط متعادل من دون ربح أو خسارة. يمكن للمنظومة، عند تشغيلها كمنتج صرف، أن تؤمن مواد إقلاع لمنشآت مفاعلات طاقة سريعة أخرى. يمكن لها، كمستهلك صرف، استنفاد البلوتونيوم الفائض ومواد الأسلحة. عند اختيار نمط التعادل فإن الوقود الإضافي الذي تحتاج إليه المنشأة النووية لن يكون سوى صب (سكب) دوري لليورانيوم المستنفد (يورانيوم تم نزع معظم اليورانيوم الانشطاري 235 منه) لتعويض ذرات المعدن الثقيل التي انشطرت.

أظهرت دراسات الأعمال أن هذه التقانة يمكن أن تكون منافسة اقتصاديا لتقانات الطاقة النووية الحالية [انظر بحث «دبرلي» ضمن «*مراجع للاستزادة*» في الصفحة 11]. من المؤكد أن إعادة التدوير التعدينية الحرارية ستكون أرخص بكثير من إعادة التدوير بطريقة بوريكس، بيد أنه في الحقيقة

(*) Comparing Cycles
(1) mixed oxide method

مقارنة ثلاث دورات للوقود النووي(*)

يمكن استخدام ثلاث مقاربات لحرق الوقود النووي والتعامل مع نفاياته. فيما يلي عدد من مزاياها.

مسلك المرة الواحدة

يحرق الوقود في مفاعلات حرارية ولا تعاد معالجته. تطبق في الولايات المتحدة.

إعادة تدوير البلوتونيوم

يحرق الوقود في مفاعلات حرارية، بعدها يستخلص البلوتونيوم باستخدام معالجة بوريكس. تطبق في دول متقدمة أخرى.

إعادة تدوير الوقود

يحرق الوقود المعاد تدويره عبر معالجة معدنية حرارية في مفاعلات نيوترونات سريعة متقدمة. نموذج أولي من التقانة.

استخدام الوقود

مسلك المرة الواحدة



مصادر الوقود الأصلي

يستفيد من قرابة 5 في المئة من الطاقة الموجودة في وقود مفاعل حراري وأقل من 1 في المئة من الطاقة الموجودة في فلز اليورانيوم (المصدر الأساسي للوقود).

لا يستطيع حرق اليورانيوم المستنفد (الجزء المنزوع من الفلز عند إغنائه) أو اليورانيوم الموجود في الوقود المستهلك.

إعادة تدوير البلوتونيوم



يستفيد من نحو 6 في المئة من الطاقة الموجودة في وقود المفاعل الأصلي وأقل من 1 في المئة من الطاقة الموجودة في فلز اليورانيوم.

لا يستطيع حرق اليورانيوم المستنفد أو اليورانيوم الموجود في الوقود المستهلك.

إعادة تدوير الوقود

يستفاد من 5 في المئة في مفاعلات حرارية

يستفاد من أكثر من 94 في المئة في مفاعلات سريعة

يذهب أقل من 1 في المئة هدرا

يستطيع استرجاع أكثر من 99 في المئة من الطاقة الموجودة في وقود المفاعلات الحرارية المستهلك.

عند نفاد وقود المفاعلات النووية المستهلك يمكن أن يحرق اليورانيوم المستنفد واسترجاع أكثر من 99 في المئة من الطاقة المتبقية في فلز اليورانيوم.

المنشآت والعمليات اللازمة

الأحمر: يتطلب حمايات مادية شديدة. البرتقالي: يحتاج فقط إلى حمايات مادية متوسطة. الأزرق: خطورة محتملة على الأجيال القادمة.

مسلك المرة الواحدة

مناجم يورانيوم

إغناء الوقود لتركيز اليورانيوم الانشطاري.

تصنيع الوقود.

منشآت طاقة.

مخزن مؤقت للنفايات (إلى أن يمكن التخلص النهائي من النفايات).

مخزن دائم قادر عل عزل النفايات بشكل آمن لعشرة آلاف سنة.

(لا يحتاج إلى تعامل بالبلوتونيوم أو عمليات معالجة نفايات).

إعادة تدوير البلوتونيوم

مناجم يورانيوم.

إغناء الوقود.

خلط بلوتونيوم (مزج).

تصنيع وقود خارج الموقع.

إعادة معالجة بطريقة بوريكس خارج الموقع.

منشآت طاقة.

مخزن مؤقت للنفايات.

معالجة النفايات خارج الموقع.

مخزن دائم قادر عل عزل النفايات بشكل آمن لعشرة آلاف سنة.

إعادة تدوير الوقود

تصنيع وقود ضمن الموقع.

معالجة معدنية حرارية ضمن الموقع (إعادة تدوير فورية للوقود المستهلك).

منشآت طاقة.

معالجة الوقود ضمن الموقع.

مخزن قادر على عزل النفايات لأقل من 500 سنة.

(لا حاجة إلى التعدين لقرون؛ لا حاجة إلى إغناء اليورانيوم أبدا).

مصير البلوتونيوم

مسلك المرة الواحدة

يزداد مخزون البلوتونيوم في الوقود المستعمل باطراد.

ينخفض فائض البلوتونيوم الصالح للأسلحة ببطء عبر مزجه في وقود طازج.

إعادة تدوير البلوتونيوم

يزداد مخزون البلوتونيوم في الوقود المستعمل وهو متاح للتجارة الاقتصادية.

ينخفض فائض البلوتونيوم الصالح للأسلحة ببطء عبر مزجه في وقود طازج.

إعادة تدوير الوقود

يتقلص المخزون في آخر الأمر إلى ما هو موجود في المفاعلات وفي إعادة التدوير.

يمكن أن ينخفض فائض البلوتونيوم الصالح للأسلحة بسرعة.

البلوتونيوم الموجود في الوقود غير نقي لدرجة أنه لا يصلح للتحويل إلى أسلحة.

نوع النفايات

مسلك المرة الواحدة

يعزل الوقود المستعمل الغني بالطاقة في حاويات ومنشآت تخزين تحت أرضية.

النفايات نشيطة إشعاعيا لدرجة أنه يمكن تعريفها بأنها «محمية ذاتيا» لبضع مئات من السنين ضد معظم المجموعات الراغبة بالحصول على البلوتونيوم 239 لصنع أسلحة نووية.

إعادة تدوير البلوتونيوم

نفايات مزججة غنية بالطاقة وثابتة لدرجة عالية.

النفايات نشيطة إشعاعيا لدرجة أنه يمكن تعريفها بأنها «محمية ذاتيا» لبضع مئات من السنين ضد معظم المجموعات الراغبة في الحصول على البلوتونيوم 239 لصنع أسلحة نووية.

إعادة تدوير الوقود

يمكن إعداد أشكال النفايات حسب الطلب ولا تحتاج إلى المحافظة عليها إلا لـ 500 سنة وبعدها لن تكون المواد خطرة.

نظرا لعدم وجود البلوتونيوم فلن تكون النفايات صالحة لصنع الأسلحة.

(*) Comparing Three Nuclear Fuel Cycles

لا يمكن معرفة قابلية المنظومة للبقاء اقتصاديا ما لم يتم إثباتها.

إن الاقتصاديات الكلية لأي مصدر طاقة لا تعتمد فقط على التكاليف المباشرة، بل تعتمد أيضا على ما يدعوه الاقتصاديون «الخارجيات» externalities، وهي تكاليف مفاعيل خارجية يصعب تقديرها كميا تنجم عن استخدام التقانة. على سبيل المثال عندما نحرق الفحم أو النفط لتوليد الطاقة فإن مجتمعاتنا تتقبل الآثار الصحية الضارة والتكاليف البيئية التي تتضمنها. لذلك فإن التكاليف الخارجية في الواقع تناصر توليد طاقة الوقود الأحفوري، إما مباشرة أو عبر آثار غير مباشرة على المجتمع ككل. وعلى الرغم من صعوبة تقدير «الخارجيات» فإن المقارنات الاقتصادية التي لا تأخذها بعين الاعتبار ستكون غير واقعية ومضللة.

الربط بين أنماط المفاعلات(*)

إذا دخلت المفاعلات المتقدمة حيز الاستخدام، فإنها ستحرق في البداية وقود المفاعلات الحرارية المستهلك الذي جرت إعادة تدويره بمعالجة حرارية. ستنقل هذه النفايات، وهي مخزنة بشكل مؤقت حاليا في الموقع، إلى منشآت تستطيع معالجتها في ثلاث قنوات خرج: القناة الأولى تكون عالية النشاط الإشعاعي، وتضم معظم نواتج الانشطار مع قدر ضئيل لا يمكن تجنبه من عناصر ما بعد اليورانيوم. سيتم تحويلها إلى شكل مستقر فيزيائيا - قد تكون مادة شبيهة بالزجاج - ومن ثم تنقل إلى جبل يوكا أو موقع دائم آخر للتخلص النهائي.

والقناة الثانية ستلتقط عمليا جميع عناصر ما بُعد اليورانيوم مع بعض اليورانيوم ونواتج الانشطار، وسيجري تحويلها إلى وقود فلزي للمفاعلات السريعة، ومن ثم تحال إلى مفاعلات من النوع ALMR.

والقناة الثالثة التي تبلغ نسبتها نحو 92 في المئة من وقود المفاعلات الحرارية المستهلك ستحوي معظم اليورانيوم، وهو الآن مستنفد ويمكن ادخاره للاستعمال المستقبلي كوقود مفاعل سريع.

لا يمكن بالطبع تحقيق سيناريو كهذا خلال ليلة وضحاها. إذا بدأنا اليوم فإن أول المفاعلات السريعة قد يبدأ العمل بعد نحو 15 سنة. من الجدير بالذكر أن ذلك البرنامج متوافق بشكل معقول مع الجدول الزمني المخطط لإرسال وقود المفاعلات الحرارية المستهلك إلى جبل يوكا. يمكن بدلا من ذلك إرسالها لإعادة تدويرها كوقود مفاعل سريع.

ومع بلوغ المفاعلات الحرارية الحالية نهاية عمرها التشغيلي يمكن استبدال مفاعلات سريعة بها. إذا تم ذلك فلن تكون هناك حاجة إلى استخراج فلزات اليورانيوم لعقود، ولن تكون هناك أي طلبات أبدا لإثراء اليورانيوم. وعلى المدى الطويل جدا فإن إعادة تدوير وقود المفاعلات السريعة ستكون أمرا فعالا إلى درجة أن الموارد المتوافرة حاليا من اليورانيوم ستبقى إلى ما لانهاية.

إن كلا من الهند والصين أعلنتا أنهما تخططان لتوسعة مصادرهما الطاقية باستخدام المفاعلات السريعة. ندرك أن مفاعلاتهما الأولى ستستخدم وقودا أكسيديا أو كربيديا وليس وقودا فلزيا - وهو ليس السبيل الأمثل وقد يكون اختياره تم لأن تقانة إعادة المعالجة بوريكس ناضجة، في حين ما زالت المعالجة الحرارية غير مثبتة تجاريا.

ما زال هناك متسع من الوقت كي تستكمل الولايات المتحدة التطوير الأساسي لمنظومات مفاعلات سريعة/ معالجة حرارية للوقود الفلزي. في المستقبل المنظور تبقى الحقيقة القاسية أن الطاقة النووية فقط هي القادرة على تلبية حاجات البشرية الطويلة الأمد من الطاقة مع المحافظة على البيئة. وكي يستمر توليد طاقة نووية مستدامة على نطاق واسع، يجب أن يدوم توريد الوقود النووي لوقت طويل. ويعني ذلك أن دورة الطاقة النووية يجب أن تتمتع بصفات المفاعل ALMR والمعالجة الحرارية. ويبدو أن الوقت مناسب لاتخاذ هذا المنحى الجديد باتجاه تطوير واع للطاقة. ■

(*) Coupling Reactor Types

المؤلفون

William H. Hannum - Gerald E.Marsh - George S. Stanford

فيزيائيون عملوا على تطوير المفاعلات السريعة في مختبرات أركونا الوطنية التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية. «هانوم» رئيس أبحاث تطوير الفيزياء النووية وأمان المفاعلات في وزارة الطاقة. وكان نائب المدير العام لوكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتطوير الاقتصادي في باريس. عمل «مارش»، وهو زميل في الجمعية الفيزيائية الأمريكية، مستشارا في وزارة الدفاع الأمريكية حول التقانات والسياسات النووية الاستراتيجية في إدارات عدد من الرؤساء السابقين. وهو مؤلف مشارك في الكتاب:

.The Phantom Defense: America's Pursuit of the Star Wars Illusion (Praeger Press)

أما «ستانفورد» الذي تركزت أبحاثه على الفيزياء النووية التجريبية وفيزياء المفاعلات وأمان المفاعلات السريعة، فهو مؤلف مشارك للكتاب:

.Nuclear Shadowboxing: Contemporary Threats from Cold War. Weaponry (Fidlar Doubleday)

مراجع للاستزادة

Breeder Reactors: A Renewable Energy Source. Bernard L. Cohen in *American Journal of Physics*, Vol. 51, No. 1; January 1983.

The Technology of the Integral Fast Reactor and Its Associated Fuel Cycle. Edited by W. H. Hannum. *Progress in Nuclear Energy*, Special Issue, Vol. 31, Nos. 1–2; 1997.

Integral Fast Reactors: Source of Safe, Abundant, Non-Polluting Power. George Stanford. National Policy Analysis Paper #378; December 2001. Available at www.nationalcenter.org/NPA378.html

LWR Recycle: Necessity or Impediment? G. S. Stanford in *Proceedings of Global 2003*. ANS Winter Meeting, New Orleans, November 16–20, 2003. Available at www.nationalcenter.org/LWRStanford.pdf

S-PRISM Fuel Cycle Study. Allen Dubberly et al. in *Proceedings of ICAPP '03*. Córdoba, Spain, May 4–7, 2003, Paper 3144.

تقانة Wi-Fi الذكية(*)

أصبح النفاذ اللاسلكي إلى الإنترنت عن طريق التقانة Wi-Fi(1) أكثر شيوعا، ولهذا جرى الارتقاء بهذه التقانة كي يتسنى للمستخدمين الحصول على خدمة سريعة وموثوقة.

<A. هيلز>

يحب الناس النفاذ إلى الإنترنت بوساطة التقانة واي فاي Wi-Fi، فهم يستخدمون أكثر فأكثر تقانة الاتصال اللاسلكي في مقاهي ستاربكس Starbucks وفي صالات المطارات والمنازل. تبدو التقانة Wi-Fi وكأنها لا تقاوم نظرا لأنها تجعل الشبكة متوافرة للمستخدمين في أي زمان ومكان. كما توفر وصلات اتصالات سريعة تسمح لرسائل البريد الإلكتروني بالظهور فورا تقريبا، ولصفحات الوب بملء وتلوين شاشات الحواسيب بسرعة ـ وكل ذلك مع إمكانية التنقل بحرّية مما جعل الهواتف الخلوية منتشرة في كل مكان تقريبا.

تتوقع الشركة Pyramid Research، وهي شركة أبحاث في صناعة الاتصالات أن يبلغ العدد العالمي لمستخدمي التقانة Wi-Fi نحو 271 مليون نسمة بحلول عام 2008، منهم 177 مليون نسمة في الولايات المتحدة وحدها. ويدعم المهتمون بالتقانة Wi-Fi حاليا أعمالا عالية مفعمة بالحيوية في مجال التجهيزات، تقدر قيمتها بنحو ثلاثة بلايين دولار، وذلك حسب توقعات الشركة In-Stat التي تعمل في مجال أبحاث التسويق. إلا أن هذه الشعبية الكبيرة للتقانة لها مشكلاتها؛ إذ إن الازدياد المطرد في استخدام الشبكات Wi-Fi، قد يجعلها غير قادرة على التعامل مع حركة مرور البيانات المتنامية، مما يؤدي إلى أن تعاني أجهزة المستخدمين خدمة بطيئة وتأخيرات طويلة.

حتى عندما تعمل التقانة بشكل ملائم فإن النفاذ اللاسلكي ليس بالسرعة التي تقدمها الوصلات السلكية العالية السرعة إلى الإنترنت، مثل الخطوط الرقمية للمشتركين DSL أو وصلات موديم الكابلات. ولا تأمل الإشارات الراديوية أن ترقى إلى سرعات الإرسال التي تقدمها الأسلاك النحاسية أو **كابلات الألياف الضوئية** fiber-optic cables. كما أن اتصالات التقانة Wi-Fi أو أي تقانة لاسلكية تعتمد الموجات الراديوية لن تستطيع أن توفر الدرجة نفسها من الأمان، إذ إنه يمكن التقاطها بمستقبلات الراديو المجاورة.

إن العديد من هذه المشكلات كان واضحا عام 1993، عندما قاد مؤلف هذه المقالة فريقا من جامعة كارنيكي ميلون لبناء شبكة أندرو اللاسلكية Wireless Andrew، وهي أول شبكة محلية حاسوبية لاسلكية واسعة النطاق، والتي تعد السلف للشبكات Wi-Fi الحالية. وتغطي الشبكة أندرو التي انتهى العمل فيها عام 1999، كامل المدينة الجامعية [انظر: *«الشبكات اللاسلكية الأرضية»*، **العلوم**، العدد 11 (1998)، ص 66].

لقد حدث الكثير في عالم اللاسلكي خلال السنوات الـ12 التي انقضت منذ تدشين الشبكة اللاسلكية في جامعة كارنيكي ميلون، حيث ظهر العديد من المشكلات الشائكة نتيجة الزيادة المطردة في استخدام التقانة Wi-Fi، إلا أن تقدما ملموسا جرى تحقيقه في حل هذه المشكلات. ولكن، قبل التطرق إلى هذه التطورات لا بد من مناقشة كيفية عمل التقانة Wi-Fi.

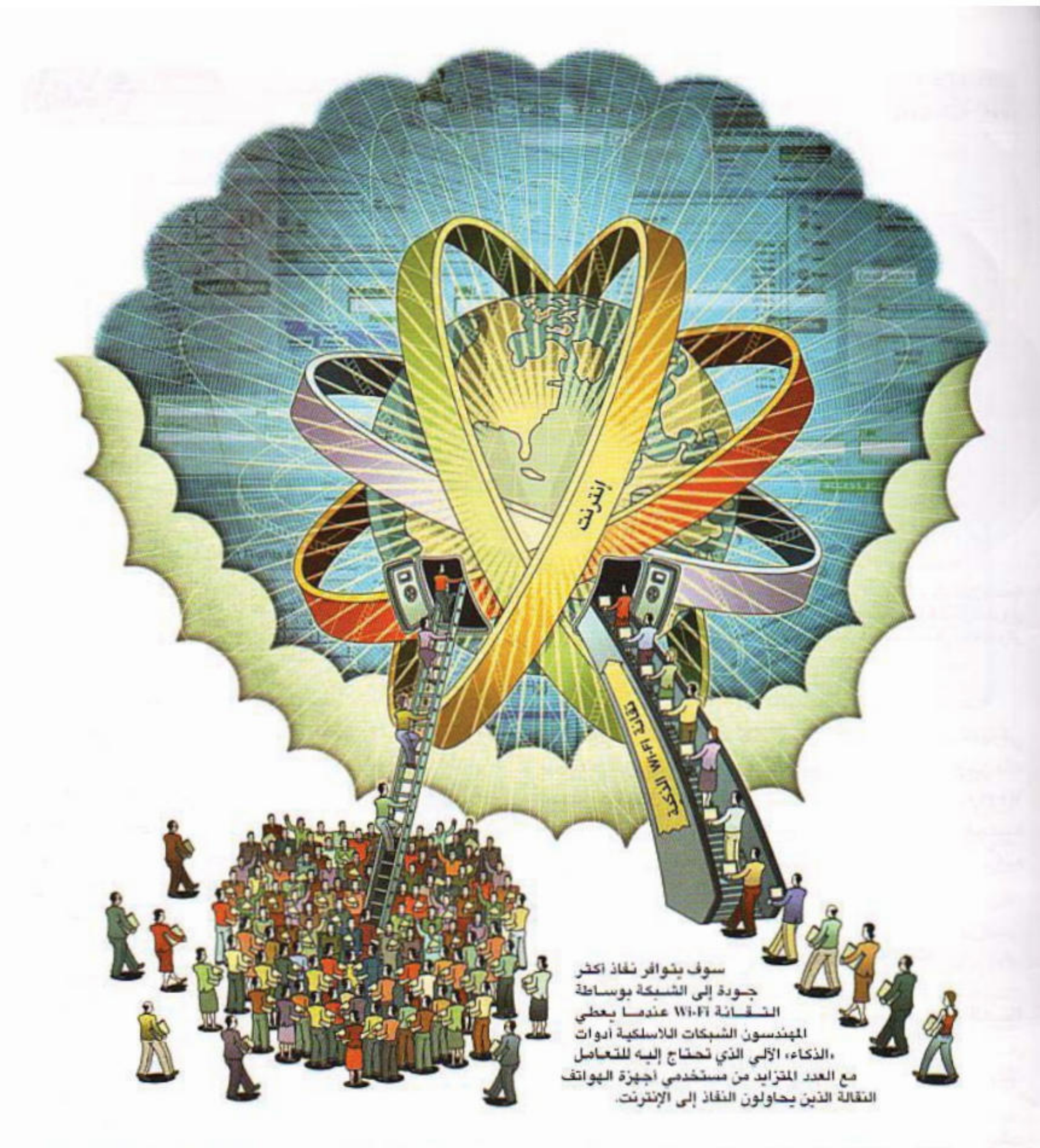
كيفية عمل التقانة Wi-Fi(**)

تتكون الشبكات Wi-Fi من حواسيب متنقلة مجهزة بالتقانة Wi-Fi (**أجهزة حضنية** laptop أو محمولة باليد)، أو هواتف خاصة بالتقانة Wi-Fi، إضافة إلى **نقاط نفاذ إلى الشبكة** access points (APs). ونقاط النفاذ هذه هي **محطات قاعدية** base stations تتواصل بالراديو وبالأسلاك بكل من الأنظمة المحمولة وبالشبكات التي تؤمن لها في نهاية الأمر مدخلا إلى الإنترنت. وتستطيع كل نقطة نفاذ إرسال واستقبال إشارات ضمن مجال محدود يراوح عادة بين 20 و 50 مترا داخل بناء ما. تشكل منطقة التغطية لنقطة نفاذ خليةً ثلاثية الأبعاد تشبه كرة مجوفة (تماثل خلية هاتف نقال إلا أنها أصغر بكثير). تستطيع أن تخدم العديد من التجهيزات النقالة الواقعة ضمنها في وقت واحد [*انظر الشكل في الصفحة 14*].

أطلق على الشبكات Wi-Fi أصلا اسم **شبكات محلية لاسلكية** Wireless LANs. لم تستطع تجهيزات الشبكات المحلية اللاسلكية التعامل فيما بينها قبل عام 1997، إذ إن النظم المنتَجة من قبل أحد المصنِّعين لم تكن تتواصل مع تلك المنتجة من قبل شركات أخرى. إلا أن معهد المهندسين الكهربائيين والإلكترونيين IEEE تبنى المعيار IEEE 802.11 في عام 1997، الذي وضع حدا لعدم التوافق. وتعمل حاليا معظم تجهيزات الشبكة المحلية اللاسلكية وفق هذا المعيار، المسمى Wi-Fi. ومع أنه لا يحدد جميع الجوانب في عمل الشبكة، فإن هذا المعيار يكفل قيام أنواع مختلفة من التجهيزات بالعمل بعضها مع بعض.

يواجه مصممو الشبكات Wi-Fi أربعة مصادر أساسية للقلق: تأمين الوثوقية من خلال التأكد من عدم تعرض الخدمة إلى الانقطاع

(*) العنوان الأصلي: Smart Wi-Fi
(**) Wi-Fi Workings
(1) مصطلح واي ـ فاي Wi-Fi هو اختصار Wireless Fidelity: الدقّة اللاسلكية.



سوف يتوافر نفاذ أكثر جودة إلى الشبكة بوساطة النقالة Wi-Fi عندما يعطي المهندسون الشبكات اللاسلكية أدوات «الذكاء» الآلي الذي تحتاج إليه للتعامل مع العدد المتزايد من مستخدمي أجهزة الهواتف النقالة الذين يحاولون النفاذ إلى الإنترنت.

بسبب رداءة نوعية الاتصالات الراديوية؛ والمحافظة على الأداء من خلال تجنب بطء سرعات الوصلات والتأخير الطويل؛ وتصميم شبكات نقاط نفاذ قادرة على أن تهيمن بشكل فعال على كامل منطقة التغطية؛ وتوفير الأمان ضد مسترقي السمع اللاسلكيين أو المستخدمين غير المخولين.

إن السبب الرئيسي في كون الشبكات المحلية اللاسلكية عرضة للمشكلات السابقة هو اعتماد هذه التقانة على الاتصال الراديوي، الذي يعاني إشكالات تشغيل ذاتية [*انظر الإطار في الصفحة 15*]. إن إشارة مستقبَلة من قبل أحد الزبائن أو من نقطة نفاذ يمكن أن تضمحل بعدة طرق:

- يوهَن الإرسال اللاسلكي ـ أي يضعف، كلما زادت المسافة، حتى في حال عدم وجود عوائق (والتي يمكن أن تسبب ضعفا إضافيا في قوة الإشارة الراديوية).
- يمكن للموجة الراديوية أن تعاني تشويه المسارات المتعددة بانعكاسها عن جدران الأبنية والمفروشات والتجهيزات أو أي أجسام تقع بالقرب من محيطها. تسلك الإشارات عندئذ مسارات متعددة من المرسل إلى المستقبِل، وذلك بسبب وجود نسخ متعددة للإرسال نفسه تصل إلى المستقبِل في أوقات مختلفة قليلا عن بعضها. ويمكن للنسخ المتأخرة أن تفسد الإشارة المباشرة مسببة إشكالات لدى الجهة المستقبلة.

▪ ينجم السبب الثالث لسوء استقبال الإشارات عن التداخل وتأثيرات الضجيج. وينشأ التداخل بسبب التضارب في الإرسال الراديوي. ويعد الفرن الذي يعمل بالموجات الميكروية (فرن الميكروويف) أحد المصادر الشائعة للتداخل في الشبكات Wi-Fi، إذ يمكن أن تصدر عنه إشارات راديوية متناثرة. ولحسن الحظ فإن أفران الميكروويف الحديثة معزولة بشكل جيد مما يحافظ على هذه الانبعاثات في حدودها الدنيا. أما الضجيج الراديوي فإنه يحدث في الطبيعة كما يأتي من مصادر أخرى كالآلات الكهربائية ومحركات السيارات وأضواء الفلوريسنت.

إن مهندسي الاتصالات معتادون على التغلب على هذه الصعوبات، إلا أن طرقهم يمكن ـ لسوء الحظ ـ أن تؤخر سرعات الإرسال. فبينما توفر شبكات إيثرنت السلكية خدماتها بسرعات تراوح بين 100 و 1000 ميكابتة في الثانية (Mbps)، فإن العديد من الشبكات المحلية اللاسلكية توظف المعيار IEEE 802.11 b، وبذلك فهي تعمل عند معدلات تصل إلى 11 ميكابتة في الثانية. ويمكن للتجهيزات الأحدث التي تعمل وفق المعيارين IEEE 802.11a و IEEE 802.11g أن تصل سرعاتها إلى 54 ميكابتة في الثانية، وهي بعدُ بطيئة مقارنة بعمل الإيثرنت. إلا أنه سيتم قريبا تقديم نسخة من المعيار IEEE 802.11 تسمح بالاتصال بسرعات تصل إلى 108 ميكابتات في الثانية.

تبالغ هذه الأرقام في الحقيقة في معدلات سرعات الشبكات Wi-Fi التي تهبط آليا من السرعة القصوى (11 أو 54 ميكابتة) إلى معدل أدنى وذلك كي تتماشى مع ظروف توهين إشارات الراديو، وتعدد المسارات والتداخل والضجيج. لذلك فإن وصلة تتوافق مع المعيار IEEE 802.11b يمكن أن تنخفض سرعة نقلها من معدل نقل 11 ميكابتة في الثانية إلى 5.5 أو 2 أو حتى إلى 1 ميكابتة في الثانية. إضافة إلى ذلك، فإن البتات الإضافية overhead ـ أي البتات الرقمية التي تضاف إلى كل إرسال للتحكم في تشغيل الشبكة ولتخفيض الأخطاء ـ تقلص معدل النقل الفعلي بدرجة أكبر.

ومنذ إدخال التقانة Wi-Fi في جامعة كارنيكي ميلون وكذلك في الشركة إيرسبيس Airespace (وهي حاليا جزء من الشركة سيسكو سيستمز Cisco Systems) عمل مؤلف المقالة وزملاؤه إضافة إلى



توضع نقاط النفاذ بحيث تتداخل خدمة مناطق التغطية ذات الشكل الكروي والمسماة خلايا، ضمن هيكل بناء لتوفر استقبالا لاسلكيا متواصلا.

مهندسين من جامعات وشركات أخرى على حل مواطن ضعفها في مجالات الوثوقية والأداء والتصميم والأمان. وقد نتج من ذلك تجهيزات الجيل الثاني من التقانة Wi-Fi (المسماة التقانة Wi-Fi الذكية في هذه المقالة)، وهي تدمج العديد من الإمكانات الجديدة التي تهدف إلى التغلب على المشكلات الموجودة. وتعتمد هذه التحسينات على ذكاء أكبر في نظم التقانة Wi-Fi.

تجنب الاختناق المروري للمعلومات(**)

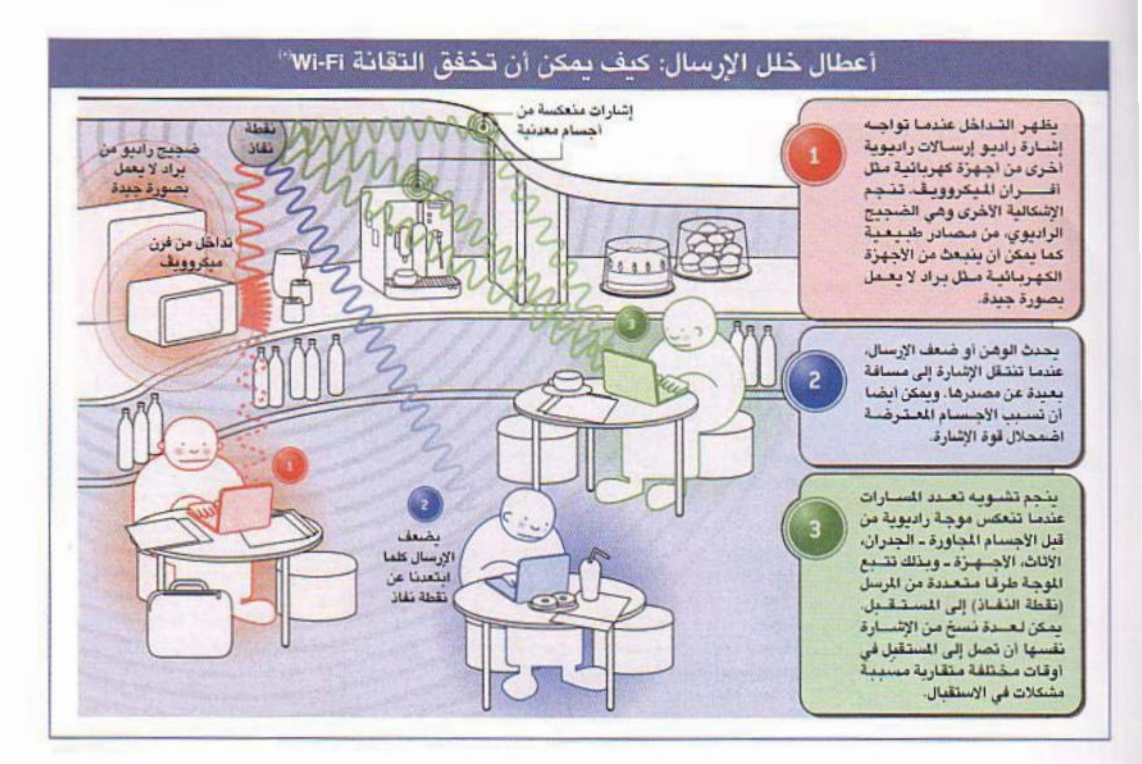
ستحسن التقانة Wi-Fi الذكية تجربة المستخدم مع الشبكة اللاسلكية من خلال التعامل مع قضايا مثل الاختناق المروري للمعلومات، وتغير البيئة بالنسبة إلى إشارات الراديو والأمان، وذلك بطرق متعددة.

يحتمل أن يسبب الاختناق المروري في الشبكة ـ أي عندما يطلب إلى نقطة نفاذ (AP) أن تخدم العديد من المستخدمين مما يجعلها محملة بشكل زائد ـ تأخيرا وانخفاضا في مستوى الخدمة على نحو مؤثر. وبما أن نقطة نفاذ ما والمستخدمين لها مجبرون على تقاسم قناة راديو واحدة (جزء من طيف إشارات الراديو) وأن محطة واحدة فقط (نقطة نفاذ أو مستخدم) يمكن لها أن تقوم بالإرسال بنجاح في وقت معين، فإن تشابكا يمكن أن يحصل. تحل الشبكات Wi-Fi حاليا الصدامات بين المحطات المتنافسة ضمن الخلية باستخدام تقنية تدعى «بروتوكول النفاذ المتعدد مع تجنب التصادم بوساطة ناقل الاستشعار» CSMA/CA(1).

نظرة إجمالية/ الشبكات المحلية اللاسلكية(*)

- فيما تتنامى شعبية التقانة Wi-Fi ـ النفاذ اللاسلكي للإنترنت ـ فإن حركة مرور البيانات المتزايدة تهدد بإغراق الشبكات المحلية المعتمدة على الراديو (LANs) التي يستخدمها الناس للوصل مع الشبكة، مسببة تأخيرات غير مقبولة وفوضى في الخدمة. إن مجموعة من التحسينات التي تشمل الجيل الثاني أو التقانة Wi-Fi الذكية ستذهب بعيدا باتجاه حل هذه المشكلات.
- يقلق مصممو الشبكات Wi-Fi من أربع قضايا: تجنب الإرسال الراديوي الضعيف النوعية، ومنع السرعات البطيئة للوصلات والتأخيرات الطويلة، وتوفير التغطية لمناطق المستخدمين، وتوفير درجة أمان كافية. سوف تحقق التقانة Wi-Fi الذكية التي بدأت بالتشغيل جميع المهام السابقة وأكثر.

(*) Overview/ Wireless LANs
(**) Avoiding Congestion
(1) carrier sense multiple access with collision avoidance



وفقا للبروتوكول CSMA/CA، تُنْصت كل محطة قبل إرسال أي إشارة، فإذا التقطت إشارة محطة أخرى تهم بالإرسال فإنها تنتظر حتى تصبح قناة الاتصال متاحة. وإذا حاولت محطتان الإرسال في الوقت نفسه تقريبا، فلن تسمع أي منهما الأخرى وسيتصادم الإرسالان. وعند حدوث ذلك لن يتم استقبال أي من الإرسالين بشكل صحيح ويجب عندئذ إعادة الإرسال. وكذلك عندما تستخدم العديد من الحواسيب نقطة نفاذ واحدة فإن التصادمات غالبا ما تحدث، مما يتطلب تعدد تكرار الإرسال ويواجه جميع المستخدمين تأخيرا زمنيا [*انظر الإطار في الصفحة 16*].

يمكن لمشكلة التحميل الزائد لنقاط النفاذ أن تكون حادة في المناطق ذات الكثافة العالية من المستخدمين. والمرة الأولى التي عاناها المستخدمون في جامعة كارنيگي ميلون كانت في القاعات الكبيرة للمحاضرات وفي الصفوف الدراسية. فقد لاحظ فريق العمل بسرعة أن الأداء لن يستطيع حتى مجرد الاقتراب من أداء الشبكات السلكية في هذه الأمكنة المكتظة، والتي تحوي في بعض الأوقات مئات من مستخدمي الحواسيب النقالة.

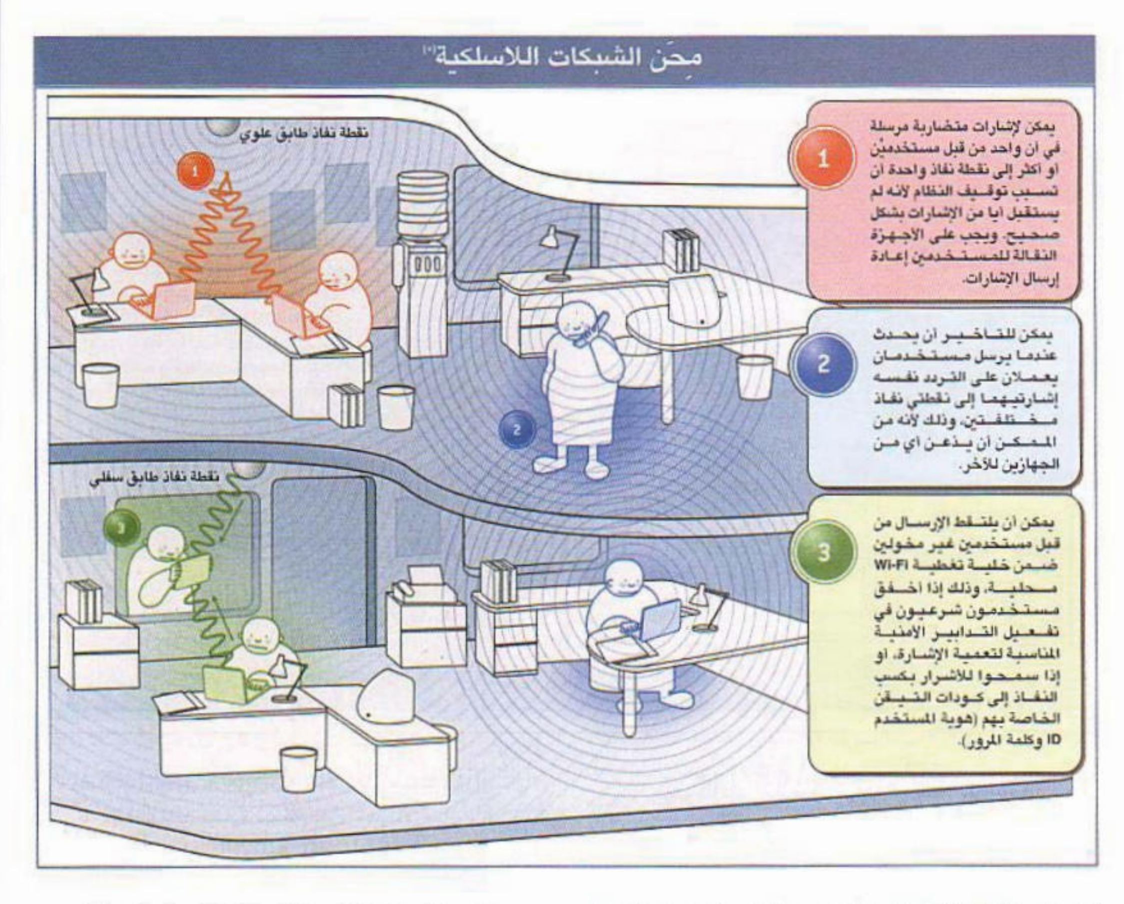
يمكن أيضا للبروتوكول CSMA/CA أن يسبب صعوبات خاصة بين نقاط النفاذ البعيدة والأجهزة النقالة التي تعمل على القناة الراديوية نفسها. فإذا تمكنت نقطة نفاذ أو جهاز نقال من سماع مستخدم أو نقطة نفاذ بعيدين (على **قناة مرافقة** co-channel) فإنها سوف تذعن كما لو أن المحطة المرسِلة تقع ضمن خليتها. وينتج هذا التراكب مع القناة المرافقة نوعا آخر من الانخفاض في الأداء. [*انظر الإطار في الصفحة 16*].

> شبكات اللاسلكي المحلية عرضة للمشكلات لأن تقانتها تقوم على إشارات الراديو التي تعاني معوقات عدة.

بافتراض أن «أحمد» و «سلوى» يستخدمان على سبيل المثال تجهيزات تعمل على القناة الراديوية نفسها لكنهما يوجدان في أجزاء مختلفة من بناء ما ويترابطان بنقاط نفاذ مختلفة. إذا استطاع نظام «أحمد» سماع نظام «سلوى» فإن الأول سوف يذعن في كل مرة يقوم نظام «سلوى» بالإرسال، مؤخِّرا بذلك رسائل تنتظر أن ترسل من قبل نظام «أحمد». وبشكل مشابه، إذا استطاع نظام «سلوى» أن يسمع نظام «أحمد»، فإنه لن يكون قادرا على الإرسال كلما كان نظام «أحمد» يقوم بالإرسال، مما يؤدي إلى خفض مستوى خدمة الاتصال بها. تسترعي هذه المشكلة الانتباه بشكل خاص إذا كان أي من «أحمد» أو «سلوى» يستخدم أداة إرسال واستقبال يدوية للصوت.

يستطيع المصممون تخفيف آثار الحالات السابقة من خلال تحديد مهام القنوات بدقة، وباستخدام خاصية جديدة تدعى **موازنة الحمل** load balancing تمكن من تخفيض احتمال إرهاق نقطة النفاذ. وتعتمد موازنة الحمل على حقيقة كون الزبائن ضمن مجال اثنتين أو أكثر من نقاط النفاذ. وتحاول

(*) Transmission Glitches: How Wi-Fi Can Fail



الشبكات Wi-Fi الذكية أن تخفف من الازدحام بتوزيع الزبائن على نقاط النفاذ بشكل منتظم تقريبا وبحيث لا تُغرق أيا منها، مما يحقق انسيابية في الأداء بشكل كبير.

يطلق على وصلة بين مستخدم ونقطة نفاذ اسم **الارتباط** association. تستهل هذه العملية عندما يبدأ مستخدم ما طلب ارتباط. وعندما تتسلم نقطة نفاذ طلب ارتباط فإنها تستطيع أن تقبل هذا الطلب أو ترفضه. وعلى الرغم من أن المعيار IEEE 802.11 لا يخصص منهاجا برمجيا لاتخاذ مثل هذا القرار، فإن الجيل الثاني لنقاط النفاذ (أو مفتاح التحويل الذكي الذي يتحكم فيها) يدرس الحمل الآني للنقطة قيد الاعتبار وتلك الأحمال الخاصة بنقاط النفاذ المجاورة، مما يساعد على اتخاذ القرار. ربما لا تكون نقطة نفاذ محملة بشكل كبير هي الأنسب للارتباط بمستخدم جديد. إذا تم تسلم طلب كهذا وكان النظام يعلم أن إحدى نقاط النفاذ غير محملة بشكل كبير وتقع في المجال الراديوي للمستخدم صاحب الطلب، فإن نقطة النفاذ قد ترفض طلب الارتباط مؤدية بالتالي إلى تحسين الأداء الكلي للشبكة [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*]. إن موازنة الأحمال، إضافة إلى تقنيات أخرى، سوف تسمح للشبكات Wi-Fi المستقبلية بتقديم أداء جيد حتى في الأمكنة ذات الكثافة العالية.

تغير المحيط بالنسبة إلى إشارات الراديو(**)

يمكن للصعوبات المتعلقة بإشارات الراديو والمشار إليها سابقا **كالوهن** attenuation **وتعدد المسارات** multipath **والتداخل** interference **والضجيج** noise، أن تخفَّف بشكل جوهري من خلال تصميم جيد للشبكة. ويجب أن يقرر مصمم الشبكة Wi-Fi أين توضع نقاط النفاذ (AP) ضمن فضاء المنطقة المستهدفة ليؤمن التغطية والأداء اللازمين. كما يترتب على المهندسين اختيار القنوات التي يجب تخصيصها لنقاط النفاذ. ويحتاج المصمم إلى مراعاة خصائص المحيط بالنسبة إلى إشارات الراديو وهندسة المبنى الذي سيتم فيه تركيب الشبكة المحلية اللاسلكية، والتي هي في الحقيقة شبكة راديوية ثلاثية الأبعاد.

يهدف مصمم الشبكة إلى تجنب الثغرات في التغطية عند انتقاء مواقع نقاط النفاذ، إلا أنه في الوقت نفسه يجب أن يباعد بين نقاط النفاذ أكثر ما يمكن لتخفيض كلفة التجهيزات والتركيب. والسبب الآخر الذي يدعو إلى فصل نقاط النفاذ عن بعضها هو تداخل التغطية بين النقاط التي تعمل على القناة الراديوية نفسها (المعروف باسم التراكب بين القنوات) مما يخفض جودة الأداء. ويجري في الجزء الثاني من

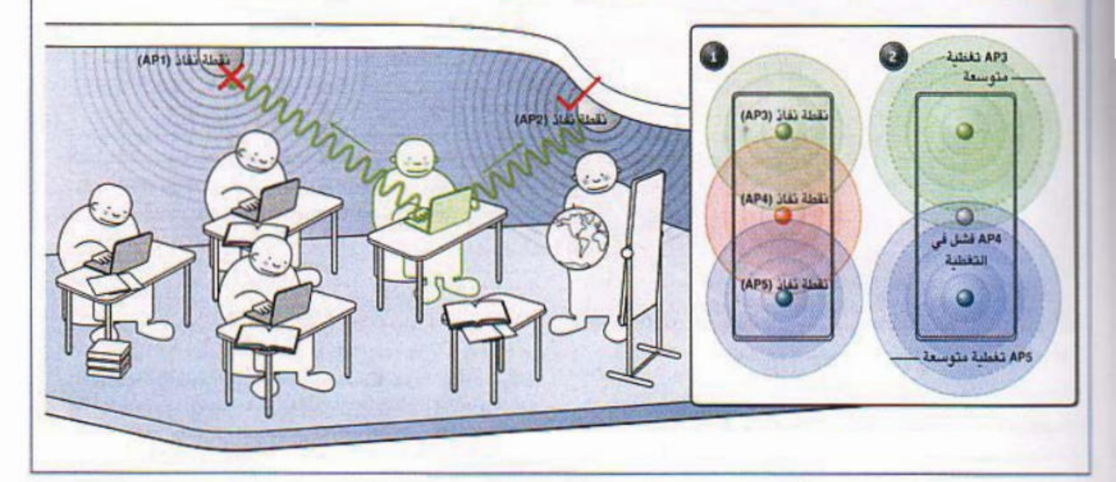
(*) Woes of Wireless Networks

(**) Changing Radio Environments

مواءمات ذكية لشبكات Wi-Fi(*)

يمكن للشبكة Wi-Fi الذكية أن تخفف من الازدحام وذلك بتوزيع وصلات المستخدمين بشكل متساو بين نقاط نفاذ Wi-Fi المتاحة. قد تفعّل ميزة موازنة الأحمال هذه [أسفل، في اليسار] عندما يحاول مستخدمٌ الوصلَ مع نقطة نفاذ محملة بشكل كبير، مثل AP1. إذا تبين للنظام أن نقطة النفاذ الثانية محملة بشكل خفيف وتقع ضمن المجال الراديوي للمستخدم، فإن النظام سيرفض النفاذ إلى نقطة النفاذ الأولى ويوصل المستخدم مع نقطة النفاذ الثانية، مما يحسن أداء التشغيل العام للشبكة.

عندما تتغير الظروف بالنسبة إلى إشارات الراديو، فإن النظام Wi-Fi الذكي يمكن أن يعدل من حجم خلاياه بهدف التعويض. في هذا المثال، [أسفل، في اليمين]، توفر نقاط النفاذ 3، 4، 5 خدمة إلى فضاء داخلي [1]. وعندما تفشل نقطة النفاذ AP4 (في الوسط) بشكل غير متوقع، فإنها تحدث ثغرة في التغطية اللاسلكية. وتتوسع الخليتان المجاورتان AP3، AP4 لتوفير التغطية فوق الثغرة [2].



عملية التصميم عادة تخفيض التراكب بين القنوات إلى حدوده الدنيا مما يقلل التأثر بين المحطات في خلايا قنوات متجاورة مختلفة.

وثمة ميزة جديدة للتقانة Wi-Fi الذكية، هي **التحكم الآلي في حجم الخلية** automatic cell-size control، تسمح للخلايا بالتوسع أو الانكماش كي تتوافق مع تغير شروط إشارات الراديو. كما يمكن لهذه التقانة أن تعوِّض أي نقص في التصميم أو توَقُّف في نقاط النفاذ.

حتى في أكثر الشبكات دقة في التشكيل فإنه من الممكن للمحيط بالنسبة إلى إشارات الراديو أن يتغير من وقت إلى آخر. وهكذا، فإن الظروف الأساسية يمكن أن لا توجد. وعلى سبيل المثال، فعندما تُنقل بعض التجهيزات المعدنية في مصنع ما فإن تغيرا في الحالة الكهرمغنطيسية يمكن أن يقود إلى ثغرات في التغطية؛ وفي هذه الحالة، من المناسب توسيع أو تقليص أحجام الخلايا للقيام بالتعويض. ويمكن تعديل أحجام الخلايا من خلال تكييف قدرة الإرسال لنقاط نفاذ Wi-Fi. فإذا كانت التغييرات تعكس بدقة المحيط الراديوي الجديد فإن التغطية المستمرة للشبكة يمكن أن يُحافَظَ عليها في كل مكان من المساحة المستهدفة دون وجود تراكب بين الخلايا. (تستطيع نقاط النفاذ حاليا أن تعدِّل فقط في مستويات قدرة الإرسال الخاصة بها، لكننا بانتظار إضافات إلى معيار IEEE 802.11 يُسمح بموجبها لنقاط النفاذ أن ترشد مستخدميها لزيادة أو إنقاص قدرة إرسالها أيضا).

تتوافر في التحكم الآلي لحجم الخلايا إمكانية تخفيض الجهد المطلوب في تصميم الشبكات المحلية اللاسلكية. وتتيح هذه الميزة إمكانية تصميم سريع لوضع نقاط النفاذ في مواقع معقولة وإن لم تكن مثالية. يضاف إلى ذلك، أن نقاط النفاذ تصاب بأعطال من وقت إلى آخر، ولكن وفقا للمواقع الخاصة لنقاط النفاذ ولأنواع الهوائيات المستخدمة، يمكن للتحكم الآلي في حجم الخلايا أن يغطي بصورة مؤقتة الثغرات التي تسببها أعطال نقاط النفاذ. [انظر الإطار في هذه الصفحة].

عندما يستخدم العديد من الحواسيب نقطة نفاذ تحدث التصادمات ويواجه جميع المستخدمين تأخيرات عدة.

المهمة الديناميكية للقناة(**)

يمكن أيضا لنقاط النفاذ أن تستخدم المهمة الديناميكية للقناة في الشبكات Wi-Fi الذكية لتغيير تردد قنوات الراديو آليا. يقوم المصممون عادة بتحديد مهام القنوات بحيث يكون التشابك بينها في حدوده الدنيا، وذلك استنادا إلى بيئة انتشار الموجات الراديوية. وتكون هذه القنوات بعد تحديد مهامها ساكنة في الظروف العادية. إلا أن البيئة يمكن أن تتغير ولذلك فإنه لا يوجد ضمان بأن هذه المهام المحددة ستبقى صالحة.

تتحسس الشبكات Wi-Fi من الجيل الثاني البيئة الراديوية

(*) Intelligent Wi-Fi Networks Adapt

(**) Dynamic Channel Assignment

التقانة Wi-Fi مقابل التقانة WiMAX(*)

ربما يكون العديد من القراء، قد سمعوا بتقانة نفاذ لاسلكي جديدة تدعى WiMAX. فما هي هذه التقانة وما صلتها بالتقانة Wi-Fi؟

بينما تُستخدم التقانة Wi-Fi من قبل التجهيزات النقالة على نطاق واسع، فإن التقانة WiMAX توجهت أساسا لوصلات الإنترنت الثابتة. إن مصطلح WiMAX هو من ابتكار مجموعة صناعية تسمى منتدى WiMAX.

وكما أن التقانة Wi-Fi تقوم على المعيار IEEE 802.11، فإن التقانة WiMAX تنسب إلى المعيار IEEE 802.16d، الذي جرى تبنيه عام 2004 لتعريف خدمة لاسلكية عالية السرعة إلى مواقع ثابتة عبر مسافات تصل إلى 50 كيلومترا، في حين يبلغ المدى الأقصى للتقانة Wi-Fi بضع مئات من الأمتار. وأحد أسباب المدى الأكبر لنطاق التقانة WiMAX هو أنها تستطيع الإرسال بمستويات استطاعة أعلى وفقا للحزمة الراديوية radio band. سوف تكون التقانة WiMAX قادرة على العمل عند معدل نقل 75 مليون بتة في الثانية، أي أسرع عدة مرات من خط رقمي لمشترك Digital Subscriber Line (DSL) ـ إلا أن هذه المقدرة ستتوزع كالمعتاد بين العديد من المستخدمين.

جرى التفكير في التقانة WiMAX لتوفر النوع نفسه من خدمة الإنترنت السريعة الممنوحة من قبل الخط DSL، وموديم الكابل وحتى نظم الألياف البصرية. ولهذا السبب فإنها سميت أيضا شبكة مدينية لاسلكية Wireless MAN [وتعني MAN «شبكة منطقة المدينة»].

على الرغم من أصول هذه التقانة، بدأ جمهور التقانة WiMAX في الآونة الأخيرة العمل على نسخة نقالة من المعيار IEEE 802.16e المعروفة باسم mobile WiMAX. تهدف هذه التقانة، على غرار Wi-Fi، إلى تقديم الخدمة إلى الحواسيب الحضنية والأجهزة النقالة الأخرى، إلا أنها سوف تحظى بمدى أعظم، من المحتمل أن يصل إلى بضعة كيلومترات.

حاليا، ثمة اهتمام كبير في الصناعة الحاسوبية بالنقالة WiMAX، إلا أنه لم يجر بعد تبني هذا المعيار. إضافة إلى ذلك، لم يتم التيقن بعد من قدرة هذه التقانة على كسب موطئ قدم في السوق. وقد يثبت في النهاية أن التقانة WiMAX لن تتنافس مباشرة مع التقانة Wi-Fi. وبسبب استطاعتها الأكبر ومداها الأبعد، فإنها من المحتمل أن تتنافس مع خدمة الجيل الثالث (3G) للهواتف الخلوية في تقديم خدمة إنترنت نقالة، أولا في مناطق حضرية ولاحقا في أقاليم أوسع. ويعمل الجيل الثالث بشكل مشابه للتقانة WiMAX عند مستويات استطاعة أعلى من التقانة Wi-Fi. كما تغطي محطاتها القاعدية مناطق أوسع من التقانة Wi-Fi.



من المحتمل في نهاية الأمر أن تتعايش الأنظمة الثلاثة: Wi-Fi و WiMAX والجيل الثالث معا، بحيث يغطي كل منها الموضع اللائق الذي يختص به. ونظرا لأن التقانة WiMAX والجيل الثالث يعملان عند مستويات استطاعة أعلى ويوظفان منهج نفاذ مختلفا عن التقانة Wi-Fi، فإنهما لن يتعرضا إلى المشكلات نفسها ولن يحتاجا إلى الحلول نفسها التي جرى توصيفها في هذه المقالة.

سوف تجهز الحواسيب الحضنية والمساعدات الرقمية الشخصية (PDA) بشكل متزايد في المستقبل للعمل مع شبكات لاسلكية متعددة. إن حاسوبا حضنيا يمكن أن يوصل بالنظام Wi-Fi في محيط المنزل والمكتب، لكنه يستخدم النظام WiMAX أو الجيل الثالث من الهواتف الخلوية في أمكنة أخرى. وهكذا، فإن توليفات مثل Wi-Fi/WiMAX أو Wi-Fi/3G يمكن أن تصبح شيئا مألوفا في وقت ما، مع إمكانية وصل حواسيب مجهزة بالنظم السابقة بالشبكات الثلاث.

بدأ المستخدمون يلاحظون أن الشبكات Wi-Fi أخذت تتصرف كمثيلاتها السلكية.

خلال فواصل زمنية ومن ثم تقوم ديناميكيا بإعادة تحديد مهام القنوات وفقا لذلك. تزيل هذه الإمكانية الحاجة إلى إجراء تحديد مهام القنوات خلال عملية التصميم الأساسية. فإذا أزيل الأثاث من حيز مكتب ما على سبيل المثال، فإن ذلك قد يتسبب بتوسيع منطقة التغطية. وإذا نجم عن هذا التوسع تضارب مع تغطية خلية أخرى تعمل على القناة نفسها، فإن الأداء يمكن أن ينخفض بشكل حاد. وقد يكون من المناسب في هذه الحالة تحويل الخلية الثانية إلى قناة أخرى. وتؤمن خوارزميات تبديل القنوات تخفيضَ تداخل التغطية بين القنوات إلى حدوده الدنيا في كامل الشبكة.

تفعِّل النظم Wi-Fi الذكية عادة خوارزمية تبديل القنوات بصورة دورية لضمان كون تخصيص القنوات يعكس وضع البيئة الراديوية الحالية. وتستطيع تقنية المهمة الديناميكية للقناة أن تحسن أيضا من الأداء بالسماح لنقاط النفاذ بأن تختار قنوات لا تعاني الضجيج المحلي أو التداخل.

الأمن اللاسلكي(**)

قد يكون الأمن هو مشكلة التقانة Wi-Fi الأكثر عرضة للنقاش. فالمستخدمون لا يرغبون في أن يراقب الغرباء تبادلهم للبريد الإلكتروني أو أن يحصل هؤلاء على نفاذ غير مسموح به إلى نظمهم [*انظر الإطار في الصفحة 16*]. وقد قدم المعيار الأساسي IEEE 802.11 ميزة تدعى الخصوصية WEP(1) للحصول على إرسال معمّى encryption. والتعمية هي طريقة في تحويل دفق من البتات إلى دفق آخر (معمى) بحيث يمكن استعادة الدفق الأساسي من البتات باستخدام مفتاح، وهو التشفير الخاص الذي استخدم أساسا من أجل التكويد: إلا أن العديد من

(*) Wi-Fi vs. WiMAX
(1) Wired Equivalent Privacy
(**) Wireless Security

مصنعو تجهيزات التقانة Wi-Fi الذكية(*)

اسم الشركة	مكانها	موقعها على الوب
Aruba Networks	Sunnyvale, Calif.	www.arubanetworks.com
Cisco Systems/ Airespace*	San Jose, Calif.	www.airespace.com
Cisco Systems/ Aironet*	San Jose, Calif.	www.cisco.com
Colubris Networks	Waltham, Mass.	www.colubris.com
Extreme Networks	Santa Clara, Calif.	www.extremenetworks.com
Symbol Technologies	Holtsville, N.Y.	www.symbol.com
Trapeze Networks	Pleasanton, Calif.	www.trapezenetworks.com

* ضمت الشركة سيسكو سيستمز حديثا *Airespace*، وهي شركة *Wi-Fi* ذكية. إن منتَج سيسكو المتوافر حاليا المسمى *Aironet*، يدمج ميزات التقانة *Wi-Fi* الذكية.

ستخدمي اللاسلكي لا يكلفون أنفسهم عناء تفعيل ميزة التعمية ومن ثمّ فإنهم ينفذون إرسالاتهم «بوضوح» مما يسمح باختراق أسهل.

حتى عند استخدام الخصوصية WEP، وجد أناس أذكياء ينشدون التحدي والبرهنة على قابلية الشبكات اللاسلكية للاختراق، طرقا لاكتشاف المفاتيح ومن ثم كشف الرسائل. في عام 2001، أصبح من المعلوم على نطاق واسع أن الخصوصية WEP لها بعض العيوب، ومنذ ذلك الوقت عمل المطورون على تدعيم أمن الشبكات Wi-Fi.

والسماح بالنفاذ هو أيضا قضية مهمة في الشبكات Wi-Fi، حيث يمكن للمستخدمين التعريف بأنفسهم من خلال عملية تيقن تتضمن **هوية المستخدم** user ID وكلمة مروره. ولكن إذا كان بمقدور أناس مؤذين استراق النظر بسهولة على رسائل الآخرين فإنه من الممكن لهم التطفل على هوية المستخدم وكلمة المرور ومن ثم التمكن من النفاذ إلى الشبكة.

في عامي 2003 و 2004 أنهت مجموعتا العمل الخاصتان **بالمعيار** IEEE 802.11 **وتحالف Wi-Fi** Wi-Fi Alliance (وهي المجموعة الصناعية التي صكت المصطلح Wi-Fi)، العمل على معاييرهما ذات العلاقة: IEEE 802.11i، **النفاذ المحمي في الشبكات Wi-Fi** (WI-FI Protected Access (WPA، والتي وُضِعت بموجبها تدابير أمنية أكثر صرامة، تتضمن تقنيات تعمية محسنة وطرقا أكثر أمنا في جوهرها لنقاط النفاذ وللمستخدمين ليصلوا إلى المفاتيح اللازمة للتعمية وكشف التعمية.

يوفر النفاذ WPA (الذي يستخدم معيارا آخر هو IEEE 802.1X) عملية استيقان أكثر قوة بكثير مما كان متوافرا من قبل. وتحسن هذه المجموعة من المعايير وبشكل كبير الأمن الكلي للشبكات Wi-Fi الذكية.

وقد أضاف بعض مصنِّعي تجهيزات التقانة Wi-Fi تدابير أمنية أخرى أيضا، منها ـ وعلى سبيل المثال ـ **كشْف الدخلاء** intrusion detection. وتختلف الشبكات اللاسلكية عن السلكية في أن أدوات استراق السمع (وحتى نقاط النفاذ) يمكن أن توجد في أي مكان ضمن أو بالقرب من منطقة تغطية شبكة لاسلكية. (يمكن للدخلاء السلكيين أن يهاجموا عن بُعد). وهذا ما أدى إلى أن تستخدم بعض تجهيزات التقانة Wi-Fi تقانة تحديد الموقع لكشف وجود محطة معادية، وباستخدام هذه الميزة يمكن للشبكة أن تتعقب المحطة المسيئة وأن تزيلها.

بدأت الشبكات اللاسلكية تتصرف بشكل مشابه لمثيلاتها السلكية مع تطور التقنيات Wi-Fi الذكية، كما بدأ مستخدمو اللاسلكي بملاحظة الفرق. إلا أنه يتبقى الكثير مما يجب عمله في هذا السياق، كما تتواصل الأبحاث التي ستأخذ التقانة Wi-Fi بعيدا. ويجري العمل حاليا، على سبيل المثال، لإيجاد أداة متنقلة آليا ضمن الشبكة Wi-Fi. ستسمح هذه الميزة لمشغلي الشبكة باكتشاف سريع لموقع أناس (مثل الأطباء في مستشفى ما) أو أغراض (منتجات تتحرك ضمن خط تجميع في مصنع ما) كلما تطلب الأمر ذلك.

تتطور التقانة Wi-Fi وتقانات الاتصالات اللاسلكية الأخرى بشكل مطرد. وفي الولايات المتحدة ومناطق أخرى، يزداد باستمرار عدد الأشخاص الذين يتخلون عن خدمة الهاتف الأرضي، مفضلين الهواتف الخلوية اللاسلكية. وتنشئ الحكومات البلدية، مثل بلدية مدينة فيلادلفيا، مناطق تغطية بالشبكات Wi-Fi تشمل المدن بأسرها. وفي الوقت نفسه، فإن استخدام الجيل الثالث من الهواتف الخلوية، في ازدياد واضح، وقد يكون لتقانة جديدة تسمى WiMAX [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*] وجود قوي في السوق، إذ إننا نعيش في عالم لاسلكي بصورة مطردة. ■

(*) Smart Wi-Fi Equipment Makers

المؤلف

Alex Hills

هو أستاذ الهندسة والسياسة العامة وهندسة الكهربا، والحواسيب في جامعة كارنيكي ميلون. وقد عمل أيضا نائبا للرئيس ومديرا عاما للمعلومات فيها. تُركِّز جهوده في البحث والتدريس على تقانة اللاسلكي وسياسة الاتصالات. طور «هيلز» شبكة أندرو اللاسلكية، وهي شبكة محلية لاسلكية مبكرة، واخترع Rollabout، وهي أداة لاسلكية صممتها وسوقتها الشركة Helium Networks.

مراجع للاستزادة

Wireless Andrew. Alex Hills in *IEEE Spectrum*, Vol. 36, No. 6, pages 49–53; June 1999.

Large-Scale Wireless LAN Design. Alex Hills in *IEEE Communications*, Vol. 39, No. 11, pages 98–107; November 2001.

Real 802.11 Security: Wi-Fi Protected Access and 802.11i. John Edney and William Arbaugh. Addison-Wesley Professional, 2003.

Rollabout: A Wireless Design Tool. Alex Hills and Jon Schlegel in *IEEE Communications*, Vol. 42, No. 2, pages 132–138; February 2004.

Radio Resource Management in Wireless LANs. Alex Hills and Bob Friday in *IEEE Communications*, Vol. 42, No. 12, pages S9–S14; December 2004.

Wireless Networks First-Step. Jim Geier. Cisco Press, 2004.

The IEEE 802.11 Handbook: A Designer's Companion. Second edition. Bob O'Hara and Al Petrick. IEEE Press, 2005.

802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. Second edition. Matthew Gast. O'Reilly, 2005.

Scientific American, October 2005



المجلد 22 ـ العددان 2/1
يناير/فبراير 2006

Majallat AlOloom

البيولوجيا العصبية للذات(*)

لقد بدأ البيولوجيون بتحليل الكيفية التي يحدث بها الدماغ حسا ثابتا في ذات صاحبه.

<C. زيمر>

إن أوضح شيء عن نفسك هو ذاتك your self. ويقول <T. هيذرتون> [وهو عالم نفس في جامعة دارتموث]: «إنك تنظر إلى جسمك فتعرف أنه يخصك أنت.» ويتابع قائلا: «تعرف أنها يدك التي تتحكم فيها حينما تبسطها. وعندما تكون لديك ذكريات فإنك تعرف أنها تخصك ولا تخص أحدا آخر. وعندما تستيقظ في الصباح لا يكون عليك أن تستجوب نفسك طويلا عمن تكون أنت.»

قد تكون الذات واضحة، بيد أنها لغز كذلك. و<هيذرتون> نفسه نفرَ من دراستها سنوات عديدة، مع أنه كان يستكشف موضوعيْ ضبط النفس وتقدير الذات وغيرهما من قضايا ذات الصلة، منذ كان طالبا في الدراسات العليا. ويشرح قائلا: «لقد انصبت اهتماماتي جميعها على الذات ولكن ليس على الموضوع الفلسفي لماهية الذات. وقد تحاشيت التأملات حول ما تعنيه الذات، أو لعلي حاولت ذلك.»

لقد تغيَّرت الأمور. فاليوم يخوض <هيذرتون> هذه المسألة بشكل مباشر، جنبا إلى جنب مع عدد متنام من العلماء، ساعين إلى استنتاج كيفية انبثاق الذات من الدماغ. ففي السنوات القليلة الماضية ابتدؤوا يحددون فعاليات دماغية معينة يمكن أن تكون أساسية لتعيين نواحٍ مختلفة من **استشعار الذات** self-awareness. وهم يحاولون الآن تعيين الكيفية التي تسبب بها هذه الفعاليات الشعور الموحد الذي يملكه كل منا حول كونه كيانا واحدا. وها هو هذا البحث يعطي اليوم **دالات** clues حول الكيفية التي يمكن أن تكون الذات قد تطورت فيها لدى أسلافنا من فصيلة **الإنسان (البشريات)** hominid. ويمكن أن يفيد هذا البحث العلماء حتى في معالجة مرض ألزايمر واضطرابات أخرى تفسد إدراك الذات، وفي بعض الحالات تخرِّبه تماما.

الذات شيء خاص(**)

استهل عالم النفس الأمريكي <وليام جيمس> الدراسة الحديثة في هذا الميدان في عام 1890، وذلك في كتابه الفيصل بعنوان **مبادئ علم النفس** *The Principles of Psychology*. وقد اقترح قائلا: «دعونا نبدأ بـ«الذات» في أرحب معاني قبولها، ثم نتابعها حتى أدق صيغها وأرهفها.» لقد جادل <جيمس> بأن الذات، على الرغم من استشعار كونها شيئا متوحِّدا، لها عدة وجوه تمتد من وعي المرء بجسمه الخاص إلى ذكرياته عن ذاته إلى إحساسه بالتوافق مع مجتمعه. بيد أن <جيمس> اعترف بأنه احتار فيما يخص الكيفية التي يولِّد فيها الدماغ هذه الأفكار المتعلقة بالذات ويحولها إلى «**أنا**» ego واحدة.

ومنذ ذلك الحين، وجد العلماء بعض الدالات المعبرة من خلال تجارب **نفسية** psychological. فعلى سبيل المثال، وجه باحثون مهتمون بذاكرات الذات إلى بعض المتطوعين أسئلة تخص ذواتهم وكذلك أسئلة تخص أناسا آخرين. وفي مرحلة لاحقة أخضع الباحثون أولئك المتطوعين لامتحان خاطف كي يروا درجة تذكرهم الأسئلة. لقد نجح هؤلاء، على الدوام في تذكر الأسئلة التي تتعلق بذواتهم أكثر من نجاحهم في تذكر الأسئلة التي تتعلق بالآخرين. ويقول <هيذرتون>: «حينما ندمغ الأشياء بأنها ذات صلة بالذات فإننا نتذكرها بشكل أفضل.»

نظرة إجمالية/ دماغي وأنا(***)

- **تستكشف أعداد متزايدة من المختصين بالبيولوجيا العصبية كيف يتدبر الدماغ تشكيل حسٍّ بالذات وصون ذلك الحس.**
- **تم العثور على بضع مناطق دماغية تستجيب للمعلومات المتعلقة بذات المرء على نحو يختلف عن استجابتها لذوات الآخرين، حتى من كان من هؤلاء الآخرين مألوفا جدا. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تكون مثل هذه المناطق أكثر نشاطا حينما يفكر الناس في صفاتهم المميزة أكثر من تفكيرهم في خصائص الأفراد الآخرين. وقد تُكون هذه المناطق جزءا من شبكة للذات self-network.**
- **بالنسبة إلى البعض، هدف هذا البحث هو التوصل إلى فهم أفضل للخرف وإيجاد معالجات جديدة له.**

(*) THE NEUROBIOLOGY OF THE SELF
(**) The Self is Special
(***) Overview/ My Brain and Me

رؤية شخص يلمسه آخر أدت بها إلى الشعور وكأن شخصا يلمسها في الموضع نفسه من جسمها. لقد ظنت أن كل إنسان لديه تلك الخبرة الإحساسية.



لقد جادل بعض علماء النفس بأن هذه النتائج تعني ببساطة أننا أكثر ألفة لذواتنا من ألفة الآخرين لنا. واستنتج البعض بدلا من ذلك أن **الذات** self هي شيء خاص، يستخدم فيه الدماغ منظومة مختلفة أكثر فاعلية في معالجة المعلومات بخصوص الذات. بيد أن الاختبارات النفسية لم ترجح فائزا من هذه التفسيرات المتنافسة بسبب كون الفرضيات، في حالات عديدة، قد قدمت التنبوءات نفسها بخصوص النتائج التجريبية.

هذا وقد ظهرت دالأت إضافية من أذيات تؤثر في بعض مناطق دماغية تضطلع بسيرورة الذات. ولعل الحالة الأكثر شهرة في هذا الصدد هي حالة <Ph. كيج> الذي كان رئيس عمال في بناء سكة الحديد في القرن التاسع عشر. كان يقف في المكان الخاطئ حين نسفت قذيفة من الديناميت شظايا حديد عبر الهواء، فاخترقت شظيةٌ رأس <كيج> الذي ظل على قيد الحياة رغم ذلك.

لكن أصدقاء <كيج> لاحظوا تغيُّرا في سلوكه. فقبل الحادث كان <كيج> عاملا كُفْؤا ورجل أعمال فطنا. وبعد الحادث أصبح لا يعرف حرمة ولا يحترم الآخرين وقلما يخطط لمستقبله، حتى قال فيه هؤلاء إنه «لم يعد هو <كيج>.»

وثمة حالات مثل حالة <كيج> بيّنت أن الذات شيء آخر غير الوعي. فالناس يمكن أن يكون لديهم حسٌّ معطل بذواتهم من دون أن يكونوا فاقدين للوعي. وقد كشفت أذيات الدماغ كذلك أن الذات مبنية بطريقة معقدة. وعلى سبيل المثال، قدّم <S. كلاين> [من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا] وزملاؤه في عام 2002 تقريرا عن حالة فقدان ذاكرة لشخص دُعيَ باسم <B. D.>، وكان يبلغ من العمر 75 عاما حين عانى أذية دماغية جراء نوبة قلبية وفقدان قدرته على تذكر أي شيء كان قد فعله أو خبره قبل الأذية. لقد اختبر <كلاين> إدراك <B. D.> لذاته عن طريق إعطائه قائمة من ستين سجية وسأله إن كانت تنطبق عليه نوعا ما، أو تنطبق عليه بدرجة جيدة، أو تنطبق عليه على نحو مؤكد، أو أنها لا تنطبق عليه على الإطلاق. ومن ثم عرض <كلاين> الاستبانة ذاتها على ابنة <B. D.> وطلب إليها أن تصف والدها فيما يتعلق بتلك السجايا. فجاءت اختياراتها مترابطة إلى حد كبير باختيارات والدها. وهكذا يكون <B. D.> قد احتفظ بإدراك ذاته بدون الحاجة إلى ذاكرات عمن يكون هو.

دالات من الأدمغة السليمة(*)

وفي السنوات الأخيرة انتقل العلماء إلى ما هو أبعد من الأدمغة المصابة بأذيات وتناولوا الأدمغة السليمة، وذلك بفضل ما أحرزه التصوير الدماغي من تقدُّم. ففي الكلية الجامعية بجامعة لندن قام الباحثون بإجراء **مسوح دماغية** brain scans لحل لغز كيفية شعورنا بذواتنا. وفي هذا الصدد تقول <J.-S. بلاكمور> [من UCL]: «هذه هي النقطة الأولى الأساسية جدا في الذات على المستوى القاعدي.»

حينما تصدر أدمغتنا أمرا بتحريك جزء من أجسامنا، يجري إرسال إشارتين، تذهب إحداهما إلى المناطق الدماغية التي تتحكم في الأجزاء المعيَّنة من الجسم التي يجب تحريكها، في حين تذهب الأخرى إلى المناطق الدماغية التي ترصد الحركات. وتستدرك <بلاكمور> قائلة: «إنني اعتبرها (نسخة مبلغة إلى...) واردة في ذيل بريد إلكتروني: إنها المعلومة نفسها مرسلة إلى مكان آخر.»

ومن ثم تستخدم أدمغتنا هذه النسخة للتنبؤ بنوع الإحساس الذي سيولده هذا الفعل. فومضة العين تجعل الأشياء تظهر متحركة عبر حقل رؤيانا، ويجعلنا التكلم نسمع صوتنا، كما أن الوصول إلى قبضة الباب يجعلنا نشعر باللمسة الباردة لنحاس القبضة. فإذا لم يضاه الإحساس الفعلي الذي نستقبله نبوءتنا تماما، فإن أدمغتنا ستعرف الفرق. ويمكن لعدم المضاهاة هذا أن يجعلنا نبذل المزيد من الانتباه أو يستحثنا على تعديل أفعالنا وصولا إلى النتائج التي نريدها.

أما إذا لم يضاه الإحساس نبوءاتنا على الإطلاق، فإن أدمغتنا تنسبها لشيء آخر غير ذواتنا. وقد وثَّقت <بلاكمور> وزملاؤها هذا التغيير من خلال مَسْح scanning أدمغة مفحوصين أخضعتهم للتنويم المغنطيسي. فحينما أخبر الباحثون هؤلاء بأن أذرعهم جرى رفعها بوساطة حبل أو بَكَرة، رفع المفحوصون أذرعهم؛ أما أدمغة المفحوصين فقد استجابت وكأن أحدا آخر يقوم برفع أذرعهم هذه، وليس هم من يقومون بذلك.

يمكن لعجز مشابه في إدراك الذات أن يكمن وراء بعض أعراض داء الفصام. فبعض المفحوصين الذين يعانون داء الفصام

(*) Clues from Healthy Brains

هل هو مجرد وجه ظريف آخر؟(*)

حسبما يذكر <C. زيمر> في هذه المقالة، فإن الباحثين لا يتفقون على ما إذا كان الدماغ يعامل الذات على نحو خاص، بحيث يعالج المعلومات المتعلقة بالذات بشكل يختلف عن معالجة المعلومات المتعلقة بالنواحي الأخرى من الحياة. ويجادل البعض بأن أجزاء أدمغتنا التي يتغير نشاطها حينما نفكر بذواتنا إنما تفعل هذا فقط لأننا نألف ذواتنا، وليس لكون الأمر يتعلق بهذه الذات على وجه التخصيص. وكل شيء آخر كان مألوفا سوف يبعث الاستجابة نفسها.

وفي دراسة تتصدى لهذه المسألة، قام الباحثون بتصوير رجل أعطي اسم <J. W.> . وكان نصفا الكرة المخية لهذا الشخص يعملان بشكل مستقل (أحدهما عن الآخر) إثر جراحة قُطعت فيها الاتصالات بينهما (بغرض معالجة صَرَع مُعَنِّد). وكذلك صور هؤلاء الباحثون شخصا مألوفا جدا لذلك الرجل واسمه <M. كازانيكا>، وهو باحث معروف جيدا في مجال الدماغ صرف أوقاتا طويلة مع <J. W.>؛ ومن ثمّ قاموا بإنشاء سلسلة



<J. W.>



<كازانيكا>

صور تحولت فيها صورة وجه <J. W.> إلى صورة وجه <كازانيكا> تدريجيا وعرضوها في ترتيب عشوائي *(في الأسفل)*. وطلبوا إلى <J. W.> أن يجيب مع كل صورة عن السؤال الآتي: هل هذا هو أنا؟ ثم كرروا العملية مشترطين أن يجيب مع كل صورة عن السؤال الآتي: هل هذا هو <مايك> (والمقصود <كازانيكا>)؟ وأعادوا الاختبار ذاته باستخدام وجوه أناس آخرين يعرفهم <J. W.> جيدا.

لقد وجدوا أن نصف الكرة المخية الأيمن لدى <J. W.> كان أكثر نشاطا حينما تعرف وجوه آخرين يألفهم، لكن نصف كرته المخية الأيسر كان الأكثر نشاطا حينما رأى نفسه في الصور. إن هذه الاكتشافات تؤيد فرضية كون الذات شيئا خاصا. ومع ذلك، فمازالت القضية غير محسومة وبعيدة عن الحل؛ إذ إن كلا المعسكرين لديه أدلة في صالحه.

<R. رستنك>، مدير تحرير مجلة ساينتفيك أمريكان



































يصبحون مقتنعين بأنهم لا يستطيعون التحكم في أجسامهم هم. وتوضح <بلاكمور> ذلك قائلة: «إنهم يتوصلون إلى مسك كأس ما، وتكون حركتهم سوية تماما، ولكنهم يقولون (إنهم ليسوا هم من فعل ذلك، بل تلك الآلة الموجودة هناك، فهي التي تحكّمت فينا وجعلتنا نفعل ذلك).»

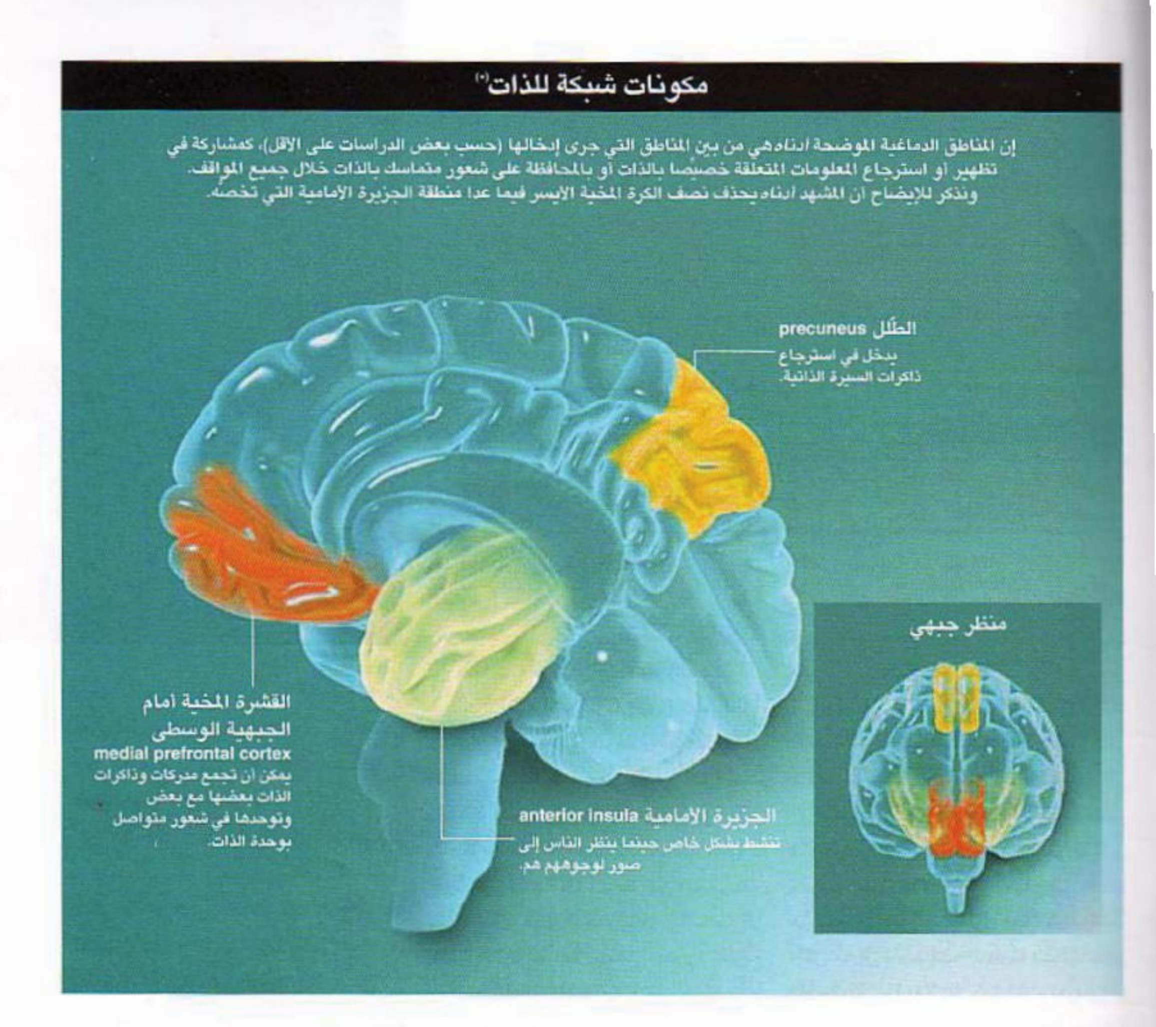
توحي الدراسات على المصابين بالفصام أن التنبؤات السيئة لأفعالهم قد تكون مصدر أوهامهم. فبسبب عدم مضاهاة إحساساتهم لتنبؤاتهم ينبع شعور بأن شيئا آخر هو المسؤول. وكذلك يمكن أن تخلق التنبؤات السيئة ما يشعر به بعض مرضى الفصام من هلوسات سمعية. فلكون هؤلاء المرضى غير قادرين على التنبؤ بأصواتهم الداخلية، فإنهم يظنونها تعود لأحد غيرهم.

إن أحد أسباب كون حس الذات هشا بهذا القدر قد يكمن في أن العقل البشري يحاول باستمرار الدخول إلى عقول الناس الآخرين. فقد اكتشف العلماء وجود ما يسمى **عصبونات مرآتية** mirror neurons تحاكي خبرات الآخرين. ونذكر على سبيل المثال، أن رؤيتنا شخصا يتعرض إلى وكز مؤلم، إنما تستثير عصبونات في منطقة الألم الخاصة بأدمغتنا نحن. وقد وجدت <بلاكمور> وزملاؤها أن رؤية شخص يلمسه شخص آخر يمكن أن تنشّط العصبونات المرآتية هذه.

لقد عرض هذا الفريق على مجموعة من المتطوعين أفلاما ڤيديوية لأناس آخرين جرى لمسُهُم في الجانب الأيسر أو الأيمن من الوجه أو الرقبة، فأثارت هذه الأفلام استجابة في بعض مناطق أدمغة المتطوعين تماثل ما حدث حين جرى لمس المتطوعين في الأجزاء المقابلة من أجسامهم. هذا وكانت <بلاكمور> استلهمت القيام بهذه الدراسة حينما قابلت سيدة بلغت من العمر 41 عاما دعيت بالرمز <C.> وكانت قد تقمصت هذا التطابق الإحساسي مع الغير بصورة مذهلة؛ ذلك أن منظر شخص ما أثناء لمسه كان يجعل السيدة <C.> تشعر كأن أحدا لمسها في المكان نفسه من جسمها هي. وتعقب <بلاكمور> على ذلك قائلة: «كانت هذه السيدة تظن أن جميع الناس لديهم تلك الخبرة.»

أجرت <بلاكمور> مسحا لدماغ السيدة <C.> وقارنت استجاباتها باستجابات متطوعين أسوياء. وهنا وجدت <بلاكمور> أن المناطق الحساسة للّمس لدى السيدة <C.> استجابت بشكل أكثر قوة لمشهد إنسان آخر يجري لمسه مقارنة بالمناطق الحساسة للّمس عند المفحوصين الأسوياء. يضاف إلى ذلك أن الموضع الذي يطلق عليه اسم **الجزيرة الأمامية** anterior insula (والموجود على سطح الدماغ غير بعيد من الأذن) غدا فعالا لدى السيدة <C.> من دون أن يحدث ذلك لدى المتطوعين الأسوياء. وترى <بلاكمور> دلالة قيمة في كون الجزيرة الأمامية هذه قد أظهرت فعالية في مسوح دماغية لدى أناس عرضت عليهم صور لوجوههم هم أو كانوا يتفكرون ذكرياتهم. وقد تساعد الجزيرة الأمامية على توصيف معلومات تتعلق بذواتنا بدلا من أن تتعلق بالآخرين. وفي حالة السيدة <C.>، تقوم الجزيرة الأمامية بهذا

(*) Just Another Pretty Face?



التخصيص للمعلومات على نحو خاطئ.

وكذلك ألقت مسوح الدماغ الضوء على نواح أخرى من الذات. فقد كان ‹هيذرتون› وزملاؤه [في دارتموث] يستخدمون هذه التقانة للتدقيق في الكيفية التي يتذكر بها الناس المعلومات حول ذواتهم على نحو أفضل من تذكُّرهم لذوات الآخرين؛ إذ قام هذا الفريق بتصوير أدمغة متطوعين كانوا يشاهدون سلسلة من كلمات **النعوت** adjectives. ففي بعض الحالات سأل الباحثون المفحوصين إذا ما كانت إحدى هذه الكلمات تنطبق عليهم أنفسهم. وفي حالات أخرى سألوهم إذا ما كانت إحدى كلمات النعوت هذه تنطبق على ‹W. G. بوش›. وفي حالة ثالثة سألوهم إن كانت كلمة النعت هذه ظهرت بأحرف كبيرة.

ومن ثم قارن هؤلاء الباحثون أنماط الفعالية الدماغية التي أحدثها كل نوع من الأسئلة، فوجدوا أن الأسئلة التي تتعلق بالذات قد نشّطت بعض المناطق الدماغية، في حين أن الأسئلة التي تتعلق بالآخرين لم تنشّط تلك المناطق. وقد رجحت نتائجهم فرضية كون «الذات شيئا خاصا» على النظرة التي ترى في «الذات شيئا مألوفا».

قاسم مشترك(**)

ثمة منطقة وجدها فريق ‹هيذرتون› مهمة للتفكير بذات امرئ ما، ألا وهي **القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى** medial prefrontal cortex. إنها بقعة من العصبونات تقع في الشق بين نصفي الكرة المخية خلف العينين مباشرة. وقد لفتت المنطقة نفسها الانتباه في دراسات على الذات أجرتها مختبرات أخرى. ويحاول ‹هيذرتون› في الوقت الحاضر استنتاج الدور الذي تؤديه هذه المنطقة.

يقول ‹هيذرتون›: «إنه لمن السخرية أن نفكر بوجود أي بقعة في الدماغ تكون هي الذات.» وبدلا من ذلك، فهو يشتبه في إمكانية أن تربط هذه الباحة area جميع المُدْرَكات والذاكرات التي تساعد على توليد حس

(*) Components of A Self-Network

(**) A Common Denominator

قد يحدد المسح الدماغي ذات يوم ما إذا كان الخرف قد أتلف الذات لدى المصاب به.

الذات، بحيث تخلق شعورا موحدا عمن نكون نحن. ويقول في هذا الصدد: «قد يكون الأمر شيئا ما يضم المعلومات بعضها مع بعض بطريقة ذات معنى.»

فإذا كان ‹هيذرتون› على حق، فقد تؤدي القشرة أمام الجبهية الوسطى فيما يخص الذات الدور نفسه الذي يؤديه **الحصين** hippocampus فيما يخص الذاكرة. صحيح إن الحصين عضو أساسي في تكوين ذاكرات جديدة، بيد أن الناس يبقون محتفظين بذاكراتهم القديمة حتى بعد تلف الحصين. فبدلا من اختزان الحصين المعلومات بداخله، يُعتقد بأنه يخلق الذاكرات عن طريق قيامه بوصل أجزاء دماغية مترامية البعد بعضها مع بعض.

قد تعمل القشرة أمام الجبهية الوسطى على **خياطة** stitching حس معرفتنا «بمن نكون» قطبة قطبة. ومن جانبها درست ‹D. A. كوسنارد› وزملاؤها [من جامعة واشنطن] ما يحدث في الدماغ حينما يكون هذا الأخير في حالة الراحة، أي حينما يكون غير منشغل بأي مهمة معيَّنة. فتبيَّنَ لهم أن القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى تغدو أكثر نشاطا في حالة الراحة منها حين القيام بعدة أنواع من التفكير.

يقول ‹هيذرتون›: «إن معظم الوقت الذي نسترسل أثناءه في أحلام اليقظة، نقضيه في التفكير في شيء حدث لنا أو نفكر خلاله في غيرنا من الناس. ويتضمن كل ذلك **تدقيقا في الذات** self-reflection.

وثمة علماء آخرون يدرسون الشبكات الدماغية التي يمكن أن تنظِّمها القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى، إذ يستخدم ‹M. ليبرمان› [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] مسوحا دماغية لحل لغز ‹B. D.›، وهو الرجل الذي بقي يعْرِف نفسه على الرغم من معاناته **فقدان الذاكرة (النساوة)** amnesia. فقد قام ‹ليبرمان› وزملاؤه بإجراء مسوح لأدمغة مجموعتين من المتطوعين، تألّفت إحداهما من لاعبي كرة قدم وتألفت الأخرى من **ممثلين مُرتَجِلين** improvisational actors؛ ثم كتب هؤلاء الباحثون قائمة كلمات لكل من المجموعتين ذات صلة بإحدى المجموعتين. (بالنسبة إلى لاعبي كرة القدم: رياضي، قوي، سريع؛ وبالنسبة إلى الممثلين: مؤدٍّ، مسرحي، وهكذا). وكذلك أعدوا قائمة ثالثة من الكلمات لا تنطبق على أي من المجموعتين (مثل: مشوَّش، موثوق)؛ ثم عرضوا هذه الكلمات على مفحوصيهم وطلبوا إليهم أن يقرِّروا إن كانت كل كلمة تنطبق عليهم أو لا.

لقد تنوعت أدمغة المتطوعين في استجاباتها لهذه الكلمات المختلفة. لقد مالت الكلمات المتعلقة بكرة القدم إلى زيادة النشاط في شبكة مميزة داخل أدمغة لاعبي القدم، وهي الشبكة نفسها التي أصبحت أكثر نشاطا لدى الممثلين فيما يخص الكلمات المتعلقة بهم (بالممثلين)؛ أما حينما عُرض على المفحوصين في إحدى المجموعتين ما يخص إحدى المجموعتين من الكلمات، فإن شبكة غير التي سبقت في أدمغتهم غدت أكثر نشاطا. ويشير ‹ليبرمان› إلى هاتين الشبكتين باسم **المنظومة (الجملة) التدقيقية** reflective system (أو المنظومة C) و**المنظومة الانعكاسية** reflexive system (أو المنظومة X).

تضمُّ المنظومة C الحصين وأجزاء دماغية معروفة باسترجاع الذاكرات. كما تشمل مناطق تستطيع استبقاء أجزاء المعلومات بشكل واع في العقل. فحينما نكون في ظروف جديدة فإن إحساسنا بذواتنا يعتمد على التفكير الصريح في خبراتنا.

بيد أن ‹ليبرمان› يجادل بأن المنظومة X تتولى المهمة مع الزمن. فبدلا من الذاكرات **تكوِّد** encode المنظومة X هذا الحدس موجِّهة إياه إلى المناطق التي تولِّد الاستجابات الانفعالية السريعة التي لا تعتمد على الاستدلال الصريح، بل على الارتباطات (الاقترانات) الإحصائية. ونشير هنا إلى أن المنظومة X بطيئة في تشكيل معرفتها حول الذات، لأنها تحتاج إلى العديد من وقائع الخبرة لتشكيل هذه الارتباطات. ولكن ما إن تأخذ هذه المنظومة شكلها حتى تغدو قوية جدا. فلاعبو كرة القدم يعرفون ما إذا كانوا رياضيين أو أقوياء أو سريعين من دون أن يستشيروا ذاكراتهم؛ إذ إن تلك النعوت تنضم بشكل حميم إلى النعوت الذّاتويّة. وبالمقابل، فإن لاعبي كرة القدم لا يملكون الغريزة الأساسية نفسها حول ما إذا كانوا مسرحيين. وهكذا فإن نتائج ‹ليبرمان› يمكن أن تحل لغز مفارقة معرفة الذات لدى ‹B. D.›؛ إذ من المعقول أن يكون ما أصابه من أذية دماغية قد محى منظومته التدقيقية من دون أن يمحو منظومته الانعكاسية.

ومع أن **علم الذات العصبي** self-neuroscience نوع من الاجتهاد آخذ بالازدهار في هذه الأيام، فهناك منتقدون له؛ إذ تقول ‹M. فَرَح› [وهي عالمة أعصاب في

الاختصاص المعرفي بجامعة بنسلفانيا]: «إن الكثير من هذه الدراسات يحلّق طليق العنان، ولذلك فإنها لا تقرُّ شيئا.» وتجادل هذه الباحثة بأن التجارب لم تصمَّم بعناية تكفي لنَفْي تفسيرات أخرى، مثل التفسير الذي يأخذ باستخدامنا مناطق دماغية معيَّنة للتفكير بأي شخص، بما في ذلك ذواتنا نفسها.

يعتقد «هيذرتون» وعلماء آخرون غيره من المنخرطين في هذا البحث أن الباحثة «فرح» كانت صارمة أكثر مما يجب تجاه موضوع فتيٍّ كهذا. ومع ذلك، فهم متفقون على وجوب مبادرتهم لاكتشاف الكثير حول شبكة الذات self-network وكيفية أداء وظائفها.

الذات المتطورة(*)

قد يتيح اكتشاف هذه الشبكة للعلماء أن يفهموا كيف تَطور إحساسُنا بالذات. فأسلاف البشر من الرئيسات ربما كان لديهم إدراك الذات الجسمية الأساسي الذي تدرسه «بلاكمور» ومشاركوها (ذلك أن الدراسات على النسانيس توحي بأن النسانيس تتنبأ بأفعالها الخاصة). أما البشر فقد طوروا حسا بالذات لا نظير له في تعقيده. وقد يكون من المهم أن تكون القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى «واحدة من أهم المناطق الدماغية البشرية تميُّزا،» حسب قول «ليبرمان». فهذه القشرة لدى البشر ليست أكبر منها لدى الرئيسات غير البشرية فحسب، بل إنها كذلك تمتلك تركيزا أكبر لعصبونات فريدة الشكل تدعى **الخلايا المغزلية** spindle cells. ولا يعرف العلماء حتى الآن عمل هذه العصبونات ولكنهم يشتبهون في أنها تؤدي دورا مهما في معالجة المعلومات. ويعلق «ليبرمان» قائلا: «يبدو أن ثمة شيئا خاصا هناك.»

يعتقد «هيذرتون» أن شبكة الذات البشرية يمكن أن تكون قد نشأت نتيجة للحياة الاجتماعية المعقدة لدى أسلافنا. فعلى مدى ملايين من السنين كانت فصيلة الإنسان hominid تعيش في جماعات صغيرة يتعاون أفرادها فيما بينهم لإيجاد الغذاء، وتقاسم ما وجدوه. ويقول «هيذرتون»: «إن الطريقة الصالحة الوحيدة تكون عبر **ضبط النفس** self-control. ويجب عليك أن تتعاون وتمتلك الثقة.» ويجادل بأن هذه الأنواع من السلوكيات تتطلب إدراكا متطورا من المرء بنفسه.

إذا كانت الذات البشرية ذات التجهيز المكتمل هي نتاج مجتمع فصيلة الإنسان فإن تلك الصلة قد تفسر لماذا توجد تداخلات مثيرة بين الكيفية التي نفكر بها بأنفسنا والكيفية التي يفكر بها الآخرون. ولا يقتصر هذا التداخل على **القدرة على الشعور بمشاعر الغير** physical empathy الذي تدرسه «بلاكمور». فالبشر كذلك ماهرون على نحو فريد في استدلال مقاصد وأفكار الآخرين من بني جنسهم. لقد أجرى العلماء مسحا على أناس منشغلين باستخدام هذا الذي يدعى **نظرية العقل** theory of mind، فوجدوا أن بعض المناطق الدماغية التي تصبح ناشطة تشكل جزءا من الشبكة المستعملة في التفكير حول الذات (بما في ذلك القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى). ويقول «هيذرتون» «إن فهمنا لذواتنا والتوصل إلى نظرية للعقل أمران مترابطان، وإنك تحتاج إليهما كليهما كي تكون كائنا بشريا سوي الأداء.»

إن الذات تتطلب وقتا لتتطور بشكل كامل. ولطالما أدرك علماء النفس أن الأطفال يستغرقون فترة ما لاكتساب حسٍّ مستقر بذواتهم. ويعلّق «ليبرمان» على ذلك قائلا: «لديهم تعارضات لا تزعجهم البتة بخصوص معاني الذات. فالأطفال الصغار لا يحاولون أن يقولوا لأنفسهم «ما أزال الشخص نفسه.» ويبدو أنهم ببساطة لا يربطون بين الأشتات الصغيرة لمعنى الذات.»

ويتساءل «ليبرمان» وزملاؤه إن كانوا يستطيعون متابعة معنى الذات المتغير لدى الأطفال وذلك باستخدام التصوير الدماغي. لقد بدؤوا يدرسون مجموعة من الأطفال ويخططون لإجراء مسوح عليهم كل 18 شهرا، ما بين سن التاسعة وسن الخامسة عشرة. ويقول «ليبرمان»: «طلبنا إلى الأطفال أن يفكروا بذواتهم وأن يفكروا كذلك في «هاري پوتر».» وقام هو وفريقه بمقارنة النشاط الدماغي في كل مهمة، كما قارنوا تلك النتائج مع نظيراتها لدى الكبار.

ويقول «ليبرمان»: «حينما تنظر إلى أطفال في سن العاشرة، تجدهم يُبدون نفس **تنشيط** activation القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى الذي يبديه الكبار، بيد أنه توجد منطقة أخرى تصبح ناشطة لدى الكبار، تعرف باسم **الطَلَل** precuneus، ولها قصة مختلفة. فحينما يفكِّر الصغار بذواتهم، فإنهم يُنشِّطون هذه المنطقة بمقدار يقل عن تنشيطهم إياها حينما يفكِّرون في «هاري پوتر».»

هذا ويشتبه «ليبرمان» في أن شبكة الذات لدى الأطفال تبقى في حالة إنشاء، ويقول: «إنهم يملكون الشبكة ولكنهم لا يجيدون تطبيقاتها مثلما يفعل الكبار.»

استبصارات في داء ألزايمر(**)

ولكن ما إن يتم إنشاء شبكة الذات حتى تعمل بكدٍّ. ويعلّق «W. سيلي» [وهو عالم أعصاب في جامعة كاليفورنيا بسان فرانسيسكو] قائلا: «وحتى بالنسبة إلى المنظومة الإبصارية، أستطيع إغلاق عينيَّ لأمنحها بعض الراحة. ولكنني لن أستطيع أبدا أن أتملص من العيش في جسمي أو من تجسيد حقيقة كوني الشخص نفسه الذي كُنْتُه قبل عشر ثوان أو عشر سنوات. لا أستطيع أبدا الهروب من ذلك، ومن ثم فإن تلك الشبكة لابد أن تكون ناشطة.»

كلما ازدادت الطاقة التي تستهلكها خلية ما، ازدادت خطورة إيذاء نفسها بالمنتجات الجانبية السامة. ويشتبه «سيلي» بأن العصبونات الدؤوبة في شبكة الذات تكون سريعة **التأثر** vulnerable بشكل خاص بهذا الضرر على مر الحياة. ويجادل «سيلي» بأن

(*) The Evolving Self
(**) Insights into Alzheimer's

التتمة في الصفحة 37

محرّكات تَعرُّف دفوق البيانات الحاسوبية(*)

تصاميم حاسوبية جديدة تعالج بكفاءة أكثر دفوق(1) البيانات من أجل الكشف عن الڤيروسات الحاسوبية والسپامات(2).

<G. ستكس>



لقد استمرّت صناعة الحواسيب مدة أطول مما هو مبرر لها بكثير بناء على تأكيداتها أن **معالجات** processors أسرع ستظهر كل بضع سنين لتحل مشكلات عديدة أسوؤها عدم كفاية **برمجيّات التطبيق** application software وتضخم حجومها. إلاّ أن الترف الذي شهدته صناعة الحواسيب حتى الآن بدأ بالانحسار؛ إذ يتعاظم استهلاك الطاقة وتُنذِر **صفائح الدارة** circuit boards التي تُرَكَّبُ عليها **المعالجات الميكرويّة** microprocessors بالتحوّل إلى أجهزة للتدفئة. وقد استجابت الشركة Intel، التي ما زال **قانون مور** Moore's law المبجل سائدا لديها، كما استجاب غيرها من صنّاع **المعدات الحاسوبية** hardware لهذا التحدّي بتصميم حواسيب يمكنها تشغيل **معالجات متعددة** multipleprocessors بسرعات أقلّ.

لكن المعالجات المتعددة تأتي دائما مع مشكلاتها. فمن جهة أولى، تعتبر كتابة البرمجيّات التي توزّع المهام الحاسوبية على أجزاء المعالجات المختلفة، من الأعباء التي لا يرغب الكثير من المبرمجين في القيام بها. إضافة إلى ذلك، فإن الكثير من **تطبيقات التشبيك** networking applications الأسرع تناميا ـ بدءا من البحث عن الڤيروسات إلى قراءة وثائق شبكة الوب المكوّدة باستخدام **لغة التأشير القابلة للتمديد** extensible markup language (XML) لا تتماشى بسهولة مع **المعالجة المتوازية** parallel processing.

والوصول إلى قرار حول احتواء رسالة ما على كلمة تشير إلى **سپام** spam، مثل كلمة **سحب (يانصيب)** lottery أو **ڤياغرا** viagra، يتطلب تفحّص عدد من **البارمترات**(3) parameters المتتالية للإجابة عن سؤال مثل: هل تتضمّن الوثيقة التي يتمّ اختبارها كلمة lottery أو سحبا متبوعة بالكلمة «ادفع»؟ إذ إن توزيع مثل هذه المهمّة على صفيف(4) من المعالجات لمعالجتها بصورة متوازية هو بمنزلة السعي وراء المتاعب. وقد بدأ المهندسون عوضا عن ذلك بإيلاء **المعالجات التشاركية** coprocessors أدوارا أكثر تخصّصا: بحيث يحتفظ المعالج الميكروي الرئيسي بمسؤولية الموزّع الأساس لوظائف **منظومة التشغيل** operating system المهمة. هذا بينما تستعير تصاميم المعالجات التي تقوم بالبحث عن السپام والڤيروسات أساليب تُستخدم في **معالجة البيانيّات (المخطّطات البيانية)** graphics التي طالما استخدمت وحدات خاصة بها لمعالجة معضلات كهذه. وفي الآونة الأخيرة، استأثر صنف من المحرّكات

(*) العنوان الأصلي: RECOGNITION ENGINES

(1) ج: دفق stream

(2) ج: سپام: تعريب للمصطلح spam، ويعني رسالة أو إعلانا يُقحم على بريد إلكتروني خاص.

(3) أو الوسطاء.

(4) array

يدعى محركات تسريع كشف التدخل[1] ببعض الأعمال التي كانت تقوم بها **وحدات المعالجة المركزية** central processing units (CPU) المتزايدة الأعباء، بل بدأت بعض المختبرات الأكاديميّة والصناعيّة بدفع هذا المفهوم خطوة إضافيّة إلى الأمام باستضافة جميع أنماط المعلومات الجارية، في شبكة ما. إذ قامت هذه المختبرات بتطوير **معالج جرياني** stream processor **عمومي الغاية** general-purpose يمكن إعادة برمجته بسهولة، ويمكنه تناول تطبيقات متعدّدة، سواء كانت حماية **الجدار الواقي** firewall أو **ضغط السجلات** compressing files.

محرّك مطابقة الشكل[*]

لقد أحرز مختبر أبحاث الشركة IBM في زيوريخ عددا من جوائز نوبل لقاء تطويره **المجهر الماسح النفقي** scanning tunneling microscope و**الموصلية الفائقة** superconductivity في درجات الحرارة المرتفعة. كذلك أدى المختبر دور الوسيط (أو همزة الوصل) في تطوير برمجيّات وتجهيزات الشبكات. وفي مؤتمر نظّمه معهد مهندسي الكهرباء والإلكترونيات IEEE في الشهر 2005/8 في جامعة ستانفورد، تحت عنوان «شيبات ساخنة»[2]، قدّم <J. ڤان لونترن> [من مختبر أبحاث IBM في زيوريخ] عرضا حول معالج جرياني عنوانه «محرّك مطابق للشكل»[3] طوّره بالتعاون مع زميله <T. إنكبرسن> يمكنه التقاط الڤيروسات والسپام وغيرها من العوامل المسيئة.

وقد طوّر معالج الشركة IBM بفضل أبحاث سابقة حول كيفيّة إرسال البيانات خلال حواسيب الإنترنت الشبكية، المسمّاة **الموجّهات** routers. وكان <V. لونترن> [وهو هولندي الأصل] قد عمل في أواخر التسعينات في مختبر الشركة IBM بزيوريخ على تطوير تقنيّات كفؤة لتفحص لوائح البيانات التي تستخدمها الموجّهات من أجل العثور عن المعلومات اللازمة لتوجيه **رزم البيانات** data packets عبر شبكة ما. فعلى الموجّهات تفحّص عشرات الملايين من الرزم في الثانية، وتدقيق عشرات الآلاف من **المدخلات** entries في قواعد البيانات الخاصة بها للتزوّد **بالوصلة** link التالية ضمن الشبكة التي ينبغي إرسال الرزم إليها من خلال عدد من **بوّابات الخرج** output ports. وقد صمّم <ڤان لونترن> حينذاك عامل **تلبيد (هاش)** hash للبحث ضمن لوائح الموجّهات. وتنتج المعادلة الرياضياتية التي طوّرها <ڤان لونترن> رقما، يدعى **رائز التلبيد (هاش)** hash index، يشير إلى الموضع في لائحة وضعت ضمن المكونات الصلبة[4] للمعالج حيث بوّابة الخرج المؤدية إلى الوصلة التي تقوم بدورها بتحريك الرزمة المعنيّة إلى الموجّه التالي ضمن الشبكة.

وقد طوّر <ڤان لونترن> خوارزميّة تستند إلى عامل تلبيد (هاش) ـ وهو البحث بلائحة التوجيه المتوازنة[5] (BaRT) ـ وتسمح هذه الخوارزمية بتقليص درامي لعدد البتات اللازمة لتخزين لوائح التوجيه ضمن الذاكرة. ويمكن للخوارزمية BaRT، التي قد تظهر مستقبلاً في عدد من منتجات الشركة IBM، أن تتعامل مع 25 مليون رزمة في الثانية. وقد يتسنى لها في المستقبل التعامل مع أربعة أضعاف هذا المقدار من حركة البيانات.

إن عمليات البحث في لوائح التوجيه تتطلّب النظر إلى خيط قصير من البيانات يقع في مقدّمة (الجزء الأول) من رزمة البيانات، وهو بمنزلة الترويسة التي تنبئ بالوجهة النهائية للرزمة. ومع الانتشار غير المسبوق للڤيروسات والسپام وغيرها، مما يسمّى الآن **بالكيان الرديء** malware، فإن على **معالجات الشبكة** network processors أن تقرأ بعمق أكبر بكثير محتويات الرزمة للبحث عن علامات تشير إلى نيات غير حميدة قد يضمرها المرسل. وعلى نحو مشابه فإن قراءة اللغات المستخدمة في تكويد الوثائق، مثل XML، تضع أعباء كبيرة على الكيان الصلب الذي تستخدمه الشبكات. لذا أصبح عامل التلبيد الذي صمّمه <ڤان لونترن> أداة جوهرية في معالج الدفق[6] لدى الشركة IBM.

ما بعد ڤون نويمان[**]

تحتاج المعالجات التقليديّة إلى **تعليمات** instructions متعددة للتعامل مع كودات XML، أو للبحث عن الكيان الرديء، مما يؤدّي إلى حدوث اختناق يولّد الحاجة إلى عشرات من **دورات الساعة** clock cycles للتعامل مع **محرْف** character وحيد. وعلى الرغم من التحسينات الكثيرة التي أُدخلت على وحدة المعالج المركزيّ فإن المعالج المركزيّ الاعتياديّ مازال يعتمد ـ إلى حدٍّ كبير ـ على **المعماريّة** architecture التي وضعها الرياضيّاتي الكبير <J. ڤون نويمان> في أربعينات القرن العشرين، ومن بعده رائدا الحاسوب <J. پرسپر إكرت> و<J. موشلي>. تُحضر هذه المعماريّة، التي يُطلق عليها اسم معماريّة ڤون نويمان[7]، تعليمةً من عنوان ضمن الذاكرة وتقوم بتنفيذها، ثم يجري تحيين[8] **عدّاد برمجيّ** program counter من خلال تزويده بعنوان التعليمة التالية التي ينبغي تنفيذها. وتعيد هذه الدورة نفسها إلاّ إذا طلبت تعليمة من المعالج دون لبس أن يقفز إلى موضع آخر في البرنامج. وإذا صادف المعالج مهمّة تتميّز بأيّة درجة من التعقيد ـ مثلا، كالتحقّق من أن محرفا ما مسموح به أم لا في تكويد اللغة XML، فإن عليه تنفيذ العديد من التعليمات ودورات الساعة لينجز المهمّة.

وقد استعار <ڤان لونترن> و<إنكبرسن> خطة مفاهيميّة[9] تعود إلى السنوات الأولى للحوسبة، وهي **آلة حالة محدودة** finite-state machine تعود جذورها إلى أعمال رائد الحوسبة <M. A. تورينگ>[10]. وآلة الحالة المحدودة هذه توفّر وصفا أساسياً لكيفيّة عمل أية آلة للحوسبة: أي كيف تؤدي عمليّات الحوسبة عبر سلسلة من الخطوات المنفصلة وكيف تتقمّص عددا محدودا من الحالات الضمنيّة في أي وقت من الأوقات. ومن وجهة نظر مجرّدة، فمعماريّة <ڤون نويمان> يمكن اعتبارها آلة حالة محدودة. لكن نوع الآلة التي صمّمها <ڤان لونترن> و<إنكبرسن> تتميّز عن وحدة المعالجة المركزيّة التي ترتكز إلى معماريّة <ڤون نويمان> بأنها لا تتضمّن عدّادا برمجيًا.

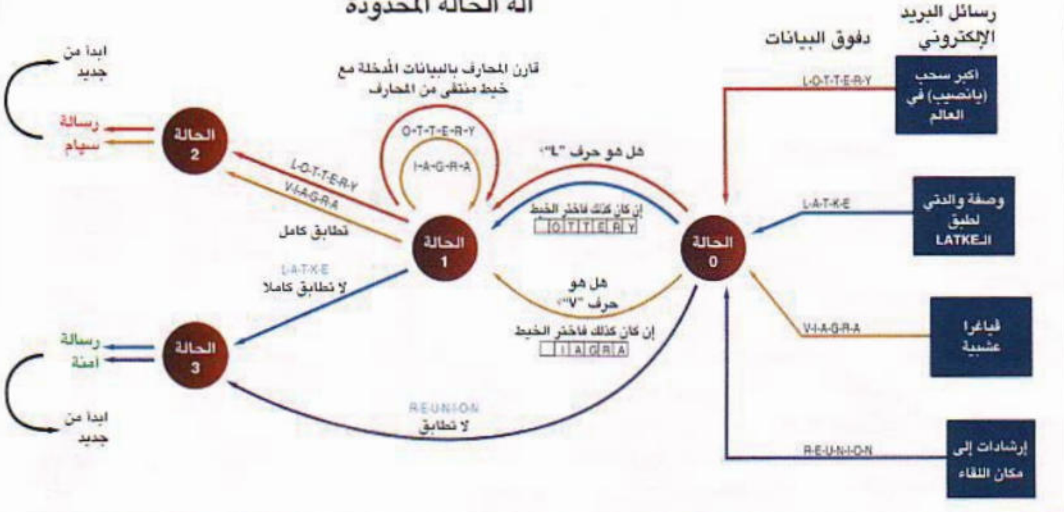
(*) Pattern-Matching Engine
(**) Beyond von Neumann
(1) intrusion detection
(2) Hot Chips
(3) patten-matching engine
(4) hardware
(5) the Balanced Routing Table
(6) stream processor
(7) The von Neumann architecture
(8) updated
(9) conceptual
(10) [انظر: «أفكار الان تورينگ المنسية في علم الحاسوب»، **العلوم**، العدد 1 (2000)، صفحة 28].

مطابقة الكثير مقابل المقارنة واحدا بواحد[*]

تعالج آلات الحالة المحدودة تيّارات البيانات بمطابقة كل محرف يدخل إليها على نحو متزامن مع العديد من المحارف المختلفة التي تدلّ على وجود سپام، والمخزونة في الذاكرة. وفي المقابل، على آلة «ڤون نويمان» المعهودة أن تقيّم المحارف المخزونة في الذاكرة واحدا بواحد.

وفي الحالة الصفريّة "0"، تقارن آلة الحالة المحدودة أول الأمر المحرف "L" باثنين آخرين، "L" و"V"، لتحديد ما إذا كان يشكّل الحرف الأوّل من كلمة "LOTTERY" أو "VIAGRA"، وهما كلمتان مخزونتان للدلالة على وجود سپام. وعندما تحدث مطابقة تعود الآلة إلى الحالة "1"، لتفحّص حروف المُدْخَل المتتالية مقارنة بخيط مخزون من المحارف، إما "OTTERY" أو "IAGRA". وإذا عثرت الآلة على تطابق كامل لواحد من هذين الخيطين، تنتقل إلى الحالة "2"، مشيرة إلى عثورها على كلمة توجد عادة في

آلة الحالة المحدودة



وعلى العكس من آلة «ڤون نويمان» تستطيع آلة الحالة المحدودة التي صمّمها «ڤان لونترن» و«إنكبرسن» القيام في الوقت ذاته بتناول جملة من المسائل ضمن دورة واحدة، بدلا من اعتبار مسألة واحدة فقط، كما هي الحال في العمليّة التي يتحكّم فيها العدّاد البرمجيّ. وهذا هو أحد الأسباب التي أدّت إلى تبنّي آلات الحالة المحدودة منذ سنوات في معالجات البيانيّات وفي **منظومات تعرّف الصوت** voice recognition وفي تصميم المعدات الحاسوبية. إلاّ أن آلات الحالة المحدودة غير قابلة لإعادة البرمجة بسهولة، بحيث يؤدّي تبنيها إلى التضحية بالمرونة وإمكانيّة الاستخدام لأغراض متعدّدة، وهذه مميزات وحدة المعالجة المركزيّة المستندة إلى معماريّة «ڤون نويمان».

إلا أن الاختناق الناجم عن الطابع المتتالي لعمل وحدات المعالجة المركزيّة التقليدية بدأ يقلّص الفروق بينها وبين معالجات الحالة المحدودة. فمن الممكن، على سبيل المثال، أن تعاد برمجة الكيان الصلب الذي صمّمته الشركة IBM استنادا إلى آلة الحالة المحدودة إذا تفشّت الڤيروسات ضمنه أو إذا تغيّرت معايير لغة XML.

يعتمد تصميم «ڤان لونترن» و«إنكبرسن» على **مخطّط حالة** state diagram، وهو صنف من المخطّطات مؤلّف من عقد دائرية أو حالات، ووصلات بين هذه العقد تمثّل الانتقال من حالة لأخرى. ومن الممكن تشبيه آلة الحالة المحدودة بالبوّابة الدوّارة التي يدخل عبرها المسافرون إلى محطات قطار النفق. فعقدة البوّابة الابتدائية هي حالة ندعوها «**مقفلة**» locked. ويشار إلى إدخال قطعة نقود في المخطّط البياني بخطّ يمثّل «**الانتقال**» transition من الحالة الراهنة للبوّابة إلى عقدة «غير مقفلة». في حين يمثّل مرور المسافر عبر البوّابة بخطّ آخر يبيّن عودة البوّابة إلى حالة العقدة المقفلة.

وفي آلة الحالة المحدودة التي صمّمتها الشركة IBM، يمكن لحالة ما أن تُحدثَ صلة بين أكثر من عقدتين. ففي تطبيق واقعيّ للمعالجة الجريانيّة، يمكن أن ترتبط عقدة ما بوصلات إلى الكثير من العقد الأخرى، وينبغي أن يتمّ تقييم كلّ وصلة في الوقت نفسه قبل اتخاذ قرار بالتحرّك نحو الحالة التالية في المخطّط. فعند البحث عن سپام ضمن سيل من البيانات الداخلة، يقرأ المعالج من الذاكرة كلمة "lottery" ولا تقوم الآلة بمجرّد التحقّق من أن الحرف "o" يتبع الحرف "l" ضمن خيط المحارف الواردة بل تتحقّق أيضا ما إذا كانت رسالة سپامية[1] قد أدخلت **محرف الخط السفلي** underscore character ("l_o") لخداع **مُصدّ السپام** spam blocker. وكجزء من البحث ذاته، الذي ينجز ضمن دورة واحدة للمعالج، يمكن أن يتمّ البحث عن الحرف "l" في كلمة "lottery" في ذات الوقت الذي قد يجري خلاله البحث عن الحرف "V" في كلمة "Viagra" وغيره من الحروف التي توجد في الذاكرة. وفي المعالج التقليدي لا بدّ من القيام بكل واحدة من هذه الخطوات على نحو متتال [*انظر الإطار في هاتين الصفحتين*].

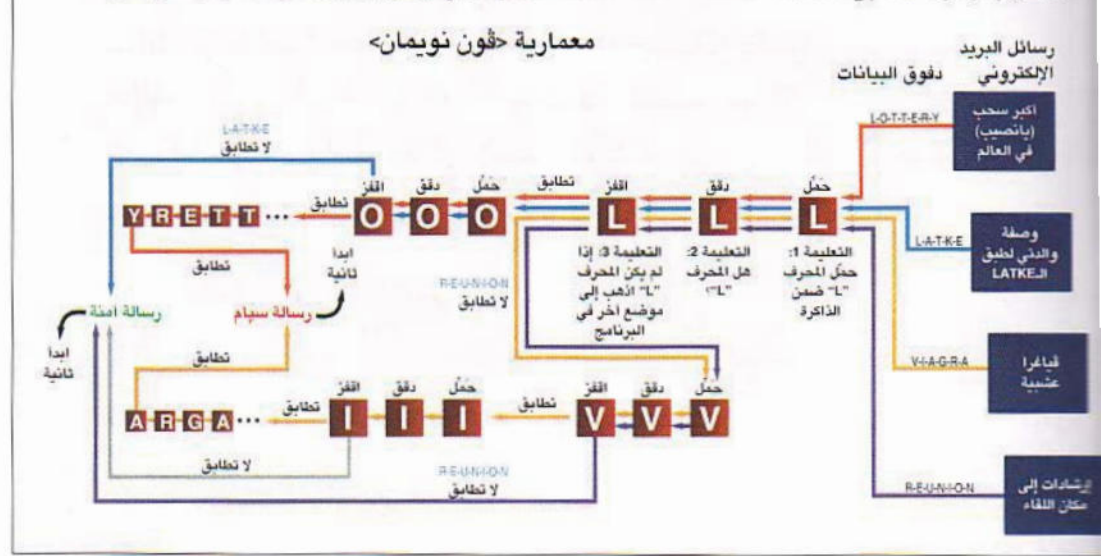
و في المختبر على الأقل، فإن استخدام آلة الحالة المحدودة في

(*) Matching Many Vs. Comparing One By One

(1) a spam message

الرسائل السپامية. أما إذا لم يحصل تطابق، كما لو كانت الكلمة التي تبدأ بحرف "L" هي "LATKE"، فإن المعدات الحاسوبية تنتقل إلى الحالة "3"، مشعرة بعدم وجود سپام كامن. أما إذا لم يتطابق الحرف الأوّل في البيانات المُدْخَلَة مع بوادئ الكلمات المخزونة في الذاكرة، كما لو كان هذا الحرف "R" في مطلع كلمة "REUNION"، فإن الآلة تنتقل مباشرة من الحالة "0" إلى الحالة "3".

وفي معماريّة ‹ڤون نويمان› المعهودة، تتمّ مقارنة كل محرَف داخل بمحرَف واحد فقط في الوقت نفسه. إضافة إلى ذلك، لا بدّ من إنجاز ثلاث تعليمات أو أكثر، ومن ثم خوض عدد من دورات المعالجة من أجل كل محرَف: واحدة لتحميل المحرَف، وأخرى للتأكّد من كونه المحرَف الذي يتمّ البحث عنه، وثالثة للانتقال إلى موضع آخر في البرنامج، إن لم يكن المحرَف الداخل هو المطلوب تفاديه.



تطبيقات جريانيّة يؤدّي إلى تحسّن كبير في الأداء. وقد ذكر ‹ڤان لونترن› في اجتماع عقد تحت عنوان **شيبات ساخنة** Hot Chips أن بإمكان آلة الحالة المحدودة التي صمّمتها الشركة IBM معالجة المحارف بسرعة تصل إلى 20 جيگابتة في الثانية، وذلك لدى التحرّي عن الڤيروسات والسپام وغير ذلك من التطبيقات، أي بسرعة تفوق عشرة إلى مئة مرّة سرعة المعالجات المعهودة عند قيامها بمهام مماثلة. والأداة المفتاح في إحراز هذه السرعة هي خوارزميّة لائحة التوجيه المتوازنة أو BaRT. وفي الكثير من آلات الحالة المحدودة يستهلك تخزين القواعد التي ينبغي بموجبها إحراز النقلات ضمن مخطّط حالة ما قسطا كبيرا من الذاكرة. ويمكن للشركة IBM أن تُخزّن في آلة الحالة المحدودة التي صمّمتها نحو 25 000 محرف في أقلّ من مئة كيلوبايت من الذاكرة، وهو حيّز من الذاكرة يبلغ 1/500 مما تتطلّبه بعض آلات الحالة المحدودة الأخرى. وتتيح الكفاءة التي تتميّز بها الخوارزميّة التي صمّمت أصلا من أجل لوائح التوجيه بازدياد خطي في حاجاتها من الذاكرة: فإذا ازداد عدد **قواعد الانتقال** transition rules من واحدة إلى عشر تزداد الحاجة إلى الذاكرة بمقدار مماثل. وهذا خلافا للوضع في آلات الحالة المحدودة الأخرى، إذ يتطلّب تضاعف عدد قواعد الانتقال عشر مرّات ازديادا بمقدار مئة مرّة في حجم الذاكرة.

تعرض الشركة IBM منذ مدة تقانة آلة الحالة المحدودة من أجل تطبيقات مخصوصة: وتمنح رخصا لاستخدامها من خلال مجموعة الهندسة والتقانة التابعة لها. وهي تدرس تضمين المعالج في عدد من المنتجات. وليست الشركة IBM الوحيدة التي تبنّت هذه الفكرة. فقد طوّرت جامعات وشركات أخرى آلات حالة محدودة قابلة للبرمجة. فقام ‹J. لوكوود› [وهو أستاذ في جامعة واشنطن بسانت لويس] بالمشاركة في تأسيس الشركة Global Velocity لتسويق معالج كهذا. ويفيد ‹ڤان لونترن› بأن تصميم الشركة IBM يتميّز بقدرته على التعامل مع مجموعة كبيرة من التطبيقات، ما يجعله معالجا عموميّ الغرض، صالحا لأيٍّ من التطبيقات التي تتطلّب معالجة جريانيّة. وقد تستمرّ إمكانات هذه المعالجات التشاركيّة في التطوّر مع جنوح مهامّ حرجة في الحوسبة بعيدا عن تحكّم وحدة المعالجة المركزيّة. وسيضمن هذا تعايش تراث كلٍّ من ‹تورينگ› و‹ڤون نويمان› على مسافة سنتيمترات أحدهما من الآخر على لوحة الدارة الواحدة. ■

لمزيد من المعلومات حول:

The Alphabets, Words and Languages of Finite State machines.
انظر: www.c3.lanl-gov/mega-math/workbk/machines.html

Global Velocity: شركة طورت مفاهيم مماثلة لتلك التي صممها فريق الشركة IBM وعنوان موقعها على الإنترنت: www.globalvelocity.com/index.html

XML Accelerator Engine.
انظر: www.reserch1.ibm.com/XML/IBM_Zurich_XML_Accelerator_Engine_paper_2004May04.pdf

العلوم
المجلد 22 ـ العددان 2/1
يناير/فبراير 2006
Majallat AlOloom

الألف طريقة وطريقة لقابلية المكاملة(*)

إن المسائل الفيزيائية التي يمكننا حلها حلا دقيقا ـ والتي نسميها مسائل قابلة للمكاملة أو قابلة للحل ـ هي مسائل نادرة. وقد استطاع الفيزيائيون الربط بين ظواهر مختلفة بتحويل مسائل معقدة إلى مسائل يمكن حلها، وذلك بفضل الاستفادة من تناظرات خَفِيّة.

<D. برنارد> ـ <Ph. دي فرانسسكو>

هل هناك تلميذ لا يشعر بالارتياح عندما يستطيع إيجاد حلّ لمسألة رياضياتية أو فيزيائية؟ وهل هناك فيزيائي لم يحلم بحل المعادلات التي تصف الظاهرة التي يدرسها؟ ذلك صحيح، لكن تجري الرياح بما لا تشتهي السفن؛ إذ إن جلّ المسائل لا تقبل حلولا صريحة. وهذا لا يرجع إلى ضعف مواهب الأشخاص الذين يبحثون عن تلك الحلول، بل إلى البنية الرياضياتية للمسائل المطروحة التي تجعل الحلّ الوحيد الممكن هو حل تقريبي أو عددي.

هناك عدد قليل من المسائل التي تتمتع بحلول مضبوطة يمكن التعبير عنها بصيغة واضحة ومتماسكة (مثل تلك التي تعبّر عن سقوط جسم في الفراغ)، وهي تسمى مسائل قابلة لحل مضبوط[1] (نقول أيضا إنها «قابلة للمكاملة» intégrable) وتخضع في الفيزياء لوضع خاص. إنها مسائل تسمح بالتأكد من صحة قوانين فيزيائية، لأننا نستطيع بوساطة هذه القوانين التنبؤ بدقة بتطوّر نظام عبر الزمن والتحقق من تطابق النتائج مع الدراسة النظرية. لكن السؤال المطروح هو: كيف نتعرّف تلك المسائل القابلة للمكاملة؟

سنرى أن وجود الحلول المضبوطة مرتبط بوجود تناظرات، كما هي حال المسألة المتميّزة لجسمين متأثرين تثاقليا[2]، التي حلت في القرن السابع عشر. وسنصف بعد ذلك كيف يمكن أن يؤدي البحث عن التناظرات الخفية أحيانا إلى توسيع حقل «قابلية المكاملة» إلى مسائل جسيمات متأثرة، لاسيما في دراسة تغيّرات حالة النظم الترموديناميكية (الحركية الحرارية). وستبيّن أمثلة متعاقبة أن اكتشاف أسباب قابلية المكاملة أقام جسورا بين العديد من حقول الفيزياء، وحتى الرياضيات، التي كانت تبدو وكأن لا روابط بينها. تلك هي أهمية النماذج القابلة للحل في الفيزياء!

إن أبرز مسألة قابلة للحل بالضبط هي مسألة كيلر Kepler، المتعلقة بحركتي جسمين ضخميْ الكتلة، مثل حالة كوكب مع نجم من نجومه عندما يكونان خاضعين لفعل تجاذبهما التثاقلي. إن «حلّ» المسألة يعني هنا أن معرفة كتلتي هذين الجسمين، وكذا موقعيْهما وسرعتيْهما الابتدائيتيْن، تمكّننا من وصف تطوّر موقعيْ الكوكبين عبر الزمن وصفا تحليليا[3] (أي بعبارات رياضياتية متماسكة). من أجل ذلك يكفي تحديد الموقع النسبي لكل من الكوكبين بدلالة الزمن. وتتمثل مسألة كيلر عندئذ في حل ثلاث معادلات تطوّرية[4]، واحدة لكل وسيط من الوسطاء (البارامترات) parameters الثلاثة التي تعيّن هيئة configuration النظام (المسافة التي تفصل الكوكبين والزاويتين اللتين تعينان الاتجاه في الفضاء للقطعة المستقيمة الواصلة بين الجسمين).

لِمَ هذا الحل ممكن؟ لقد أثبت الرياضياتي الفرنسي <J. ليوفيل> في القرن التاسع عشر مبرهنة مهمة تقول: إذا كان عدد المقادير التي يحافظ عليها النظام عبر الزمن يساوي عدد درجات حريّته[5] (أي عدد المتغيرات اللازمة لتحديده) فإننا نستطيع، نظريا، حل مسألة كيلر حلا مضبوطا، أي التعبير عن تطوّرها عبر الزمن تعبيرا صريحا باستخدام عمليات رياضياتية أوليّة ـ كتبديل المتغيرات واللجوء إلى تكاملات لدوال في متغير واحد ـ ومن ثَمّ جاء مصطلح «قابلية المكاملة».

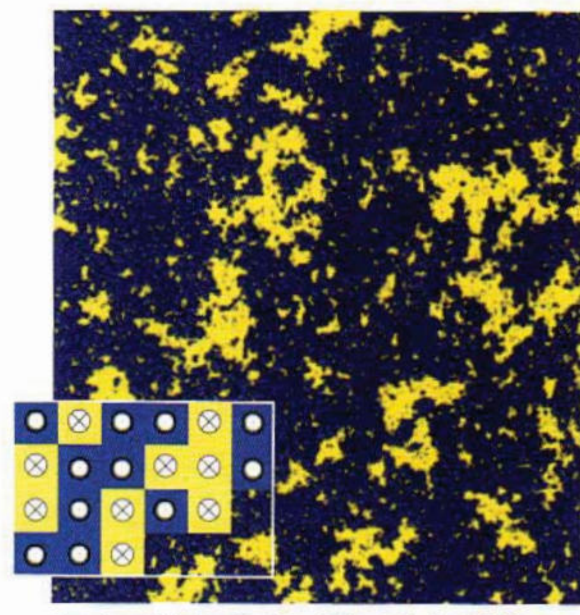
تلك هي حالة مسألة كيلر. ما المقادير التي تتم المحافظة عليها خلال حركة الجسمين؟ تبيّن معادلات الميكانيك المعهود (التقليدي) أن الطاقة الكلية للنظام، وكذا عزمه الحركي الكلي (العزم الحركي لجسيم هو الجداء المتجهي[6] لمتجه موقعه[7] في متجه كمية حركته) يظلان ثابتين عبر الزمن. إن الحفاظ على الطاقة وعلى العزم الحركي ناتج من وجود تناظرات.

وهكذا فإن الحفاظ على الطاقة يعبّر عن أن قوة الجذب التثاقلي لا ترتبط صراحة بالزمن. ونقول عندئذ إن النظام لامتغيّر invariant، أو متناظر بالانسحاب translation في الزمن؛ بمعنى أن تغيير مبدأ الزمن (أي لحظة الصفر) لا ينجم عنه أي تأثير يمكن مراقبته. كما أن الحفاظ على العزم الحركي الكلي يرجع إلى التناظر الحاصل بفعل دوران مجمل الجسمين الضخميْ الكتلة؛ لأن القوة التثاقلية بين الكوكبين لا ترتبط إلا بالمسافة التي تفصلهما، وليس بمنحى المستقيم الواصل بينهما. وبعبارة أخرى، فإننا لا نحدث أي تغيير إذا أخضعنا مجموعة الكتلتين المتأثرتين لدوران، مهما كانت زاوية هذا الدوران.

(*) هذه ترجمة للمقالة بعنوان: Les mille et une facettes de l'intégrabilité وقد صدرت في عدد الشهر 2005/10 من مجلة *Pour la Science* الفرنسية، وهي إحدى أخوات العلوم الثماني عشرة التي تترجم مجلة *Scientific American*.

(1) exactement solubles
(2) interaction gravitationelle
(3) analytique
(4) équations d'évolution
(5) degrés de liberté
(6) produit vectorial أو الجدار الشعاعي.
(7) vecteur position





الشكل 1: إن تشكيلات العزوم المغنطيسية لنموذج معطى على شبكة ثنائية الأبعاد، حيث يكون لكل موقع في الشبكة عزم مغنطيسي موجه نحو الأعلى (باللون الأزرق) أو نحو الأسفل (باللون الأصفر)، تتكون (هذه التشكيلات) من حشود مختلفة الحجوم. عندما تكون درجة الحرارة «حرجة»، فإنه يتم الانتقال من حالة ممغنطة (تكون فيها معظم العزوم المغنطيسية موجهة نحو الاتجاه نفسه) إلى حالة غير ممغنطة (تكون فيها للعزوم المغنطيسية اتجاهات عشوائية). وبجوار درجة الحرارة «الحرجة»، نلاحظ وجود لاتغير في السلم: عندما نعتبر سلما معينا (في *اليسار*) نشاهد حشودا مختلفة الحجوم، وعندما نجري تكبيرا (بمعامل 2 مثلا، في *اليمين*) فإن النظام يُظهر الهيئة العامة نفسها. يسمح اللاتغير المذكور بحساب دقيق لبعض خصائص النظام الذي نسميه نظاما «قابلا للمكاملة».

التناظرات تؤدي دورا حاسما(*)

عندما يتعلق الأمر بمسألة كپلر نلاحظ أن التناظرات ـ بفعل الانسحاب في الزمن وبفعل الدوران ـ تكفي للحفاظ على ثلاثة مقادير مستقلة، وهي عدد درجات حريّة النظام؛ ولذا تكون المسألة قابلة للمكاملة.

لقد تمّ حلّ مسألة الجسمين قبل أن يتم تحديد الصلة بين قابلية المكاملة والتناظرات، أو المقادير اللامتغيّرة. لكن المقادير الثلاثة اللامتغيرة المستقلة في مسألة كپلر تضمن إمكانية كتابة الدوال الثلاث المستقلة، التي تصف موقعيْ الجسميْن بدلالة الزمن، كتابة صريحة. بمعنى أنه يمكن ردّ المسألة إلى حلّ ثلاث مسائل أحادية الأبعاد (أي بدرجة حرية واحدة) ومستقلة. وقد تم التوصل إلى العلاقة بين التناظرات والمقادير اللامتغيرة في مطلع القرن العشرين وذلك من قبل الرياضياتية الألمانية «E. نوثر».

والملاحظ أن مفهوم قابلية المكاملة ينطبق أيضا على النظم الكمومية (الكوانتية) quantum. فثمة ما يكافئ مسألة كپلر: إنها ذرّة الهدروجين. في هذه الحالة، يكون الجسمان (پروتون وإلكترون) خاضعين لتفاعل كهرسكوني electrostatic، والمقدار المطلوب تعيينه هو الدالة(1) الموجية، وهي الدالة التي تعبّر عن احتمال وجود الإلكترون في كل لحظة عند كل نقطة من الفضاء. إن الحل الدقيق لهذا النموذج معروف منذ العشرينات من القرن الماضي. وكما هي الحال بالنسبة إلى مسألة كپلر المعهودة فإن ذرّة الهدروجين تمثّل ـ عندما لا نراعي فيها سوى التأثر الكهرسكوني ـ نظاما كموميا قابلا للمكاملة وذلك بفضل وجود تناظرات كافية.

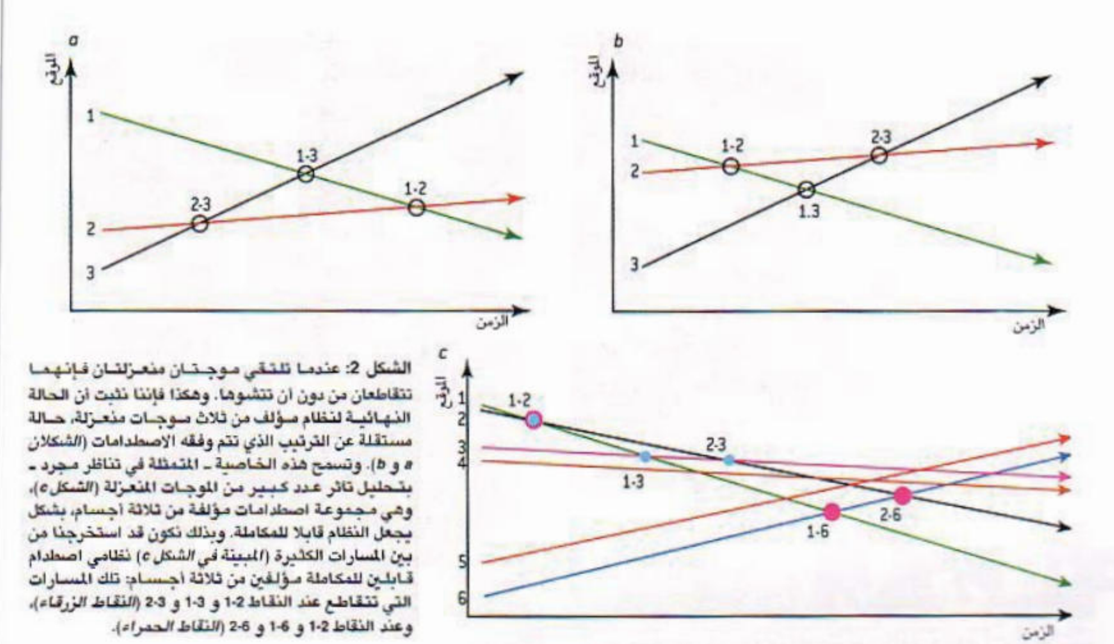
كان عدد الأنظمة القابلة للمكاملة في مطلع القرن العشرين لا يتجاوز عدد أصابع اليد الواحدة. ففي الميكانيك المعهود كان الأمر يتعلق خصوصا بخذاريف(2) متناظرة إلى حد ما وخاضعة أحيانا لقوة الجاذبية. وفي هذا السياق تجدر الإشارة إلى أن مسألة الأجسام الثلاثة المتأثرة تثاقليا ـ التي تبدو من البساطة بمكان ـ لا يمكن حلّها حلا مضبوطا. وكذلك الأمر فيما يتعلّق بالميكانيك الكمومي (الكوانتي) إذ لا يمكن بالضبط تحديد الدوال الموجية للذرة الثانية في التصنيف الدوري للعناصر ـ وهو الهليوم (نواة وإلكترونان متأثران كهرسكونيا).

يعتبر الفيزيائيون الكون منقوصا: ذلك أن الوضعيات الحقيقية تؤدي إلى نظم عدد مركباتها يفوق اثنين بكثير. وهكذا فإن جلّ الذرات لها عدد مرتفع من الإلكترونات، ونوّاها تتشكل من عدد مماثل من الپروتونات والنيوترونات. والملاحظ أن عدد المركبات في السوائل والغازات كبير للغاية. وعليه فإننا بعيدون عن التفكير في إمكانية تحديد مسارات كلّ من المركبات الأولية لمثل تلك النظم. ولذلك ندخل في اعتبارنا متغيّرات جديدة، تسمى متغيرات **ماكروسكوبية (عيانيّة)** macroscopic (الضغط، درجة الحرارة، المغنطة، ...) للمقادير المحصل عليها وذلك بحساب متوسطات

(*) Les symétries jouenet un rôle clef

(1) fonction أو تابع.

(2) toupies ج: خذروف (دوامة أو بلبل).



الشكل 2: عندما تلتقي موجتان منعزلتان فإنهما تتقاطعان من دون ان تتشوها. وهكذا فإننا نثبت أن الحالة النهائية لنظام مؤلف من ثلاث موجات منعزلة، حالة مستقلة عن الترتيب الذي تتم وفقه الاصطدامات (*الشكلان a و b*). وتسمح هذه الخاصية ـ المتمثلة في تناظر مجرد ـ بتحليل تاثر عدد كبير من الموجات المنعزلة (*الشكل c*)، وهي مجموعة اصطدامات مؤلفة من ثلاثة أجسام، بشكل يجعل النظام قابلا للمكاملة. وبذلك نكون قد استخرجنا من بين المسارات الكثيرة (*المبينة في الشكل c*) نظامي اصطدام قابلين للمكاملة مؤلفين من ثلاثة أجسام: تلك المسارات التي تتقاطع عند النقاط 1-2 و 1-3 و 2-3 (*النقاط الزرقاء*)، وعند النقاط 1-2 و 1-6 و 2-6 (*النقاط الحمراء*).

المتغيرات **الميكروسكوبية (المجهرية)** microscopic للمركبات. وفي هذه الحالة، فإن الحلّ المضبوط لمسألة معيّنة يعني التحديد المضبوط لسلوك المتغيّرات الماكروسكوبية الواحدة بدلالة الأخرى. فالأمر يتعلق هنا مثلا بتعيين درجة الحرارة التي ينتقل عندها جسم من حالة إلى أخرى (مثل انتقال الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازيّة أو الحالة الصلبة) وذلك بدلالة الضغط أو بدلالة متغيّر آخر ترموديناميي (حركي حراري).

تنتج قابلية المكاملة ـ في معظم الحالات المدروسة من قبل الفيزيائيين ـ من تناظرات أكثر تعقيدا من تلك التي جئنا على ذكرها حتى الآن. ولنوضّح ذلك من خلال ما يعرف **بالسوليتون** soliton **الهدروديناميي (الحركي المائي)** hydrodynamic. إنها ظاهرة شاهدها في منتصف القرن التاسع عشر المهندس «ج. روسل» وهو يتجوّل، ممتطيًا حصانه، على ضفاف إحدى القنوات المائية. لقد شاهد «روسل» أن أمواجا منعزلة تتشكل في القناة وتنتشر فيها على مسافات كبيرة من دون أن يتغيّر شكلها.

كائنات لامتغيّرة: السوليتونات الهدروديناميةِ(*)

تحكمُ في هذه الموجات الهدرودينامية ـ المسماة موجات منعزلة أو سوليتونات ـ إحدى معادلات ميكانيك السوائل التي تمّ البرهان عليها في أواخر القرن التاسع عشر. وكانت تلك المعادلةُ قابلةً للمكاملة: إذ نعرف كيف نحسب بالضبط مَلْمَحَ[1] السوليتون الهدروديناميي ـ أي ارتفاع سطح الماء عند كل نقطة منه، وكيفية تحديد انتشار الموجة. ومن المذهل أكثر أننا نلاحظ ـ بالمشاهدة والحساب معًا ـ أن موجتين منعزلتين ومتعاكستين في الاتجاه تتقاطعان وتخترق إحداهما الأخرى من دون أن يُحْدِث ذلك تغيرًا في شكليهما. وكل ما نلحظه من تغيّر في آخر المطاف هو بعض التأخر في سرعة الانتشار.

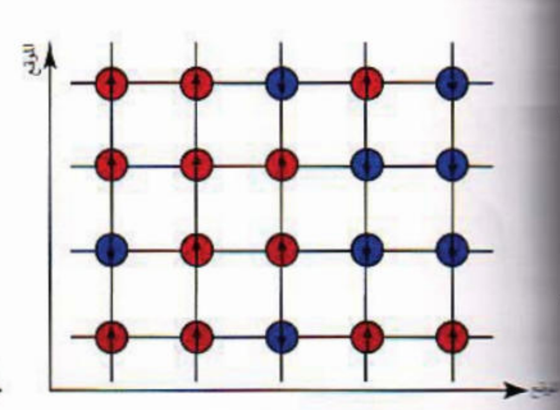
إن ثبات سرعات الموجات يتعارض مع ما نشاهده عند اصطدام جسمين رخْوين حيث يتمّ خلال الصدمة امتصاص جزء من الطاقة الحركية. أما بالنسبة إلى هذه الموجات، فليس ثمة فقدان للطاقة، بل على العكس فنحن نشاهد بشفافية جليّة كل موجة واضحة المعالم بالنسبة إلى الأخريات، مع أنه ليس لهذه الموجات بنى صلبة.

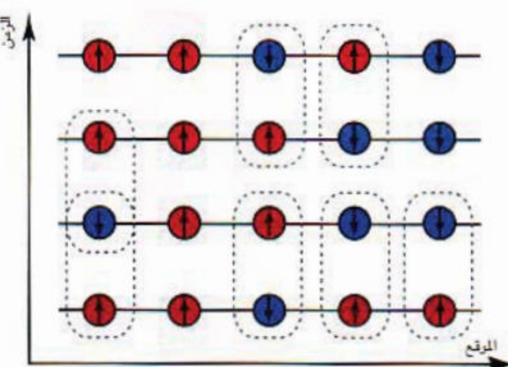
يعتبر مثال الموجات المنعزلة مثالا بنّاءً لسببين: أولهما تبْيانه إمكانية أن تكون مسألة قابلة للمكاملة على الرغم من كونها موصوفة بمعادلة معقدة وليس فيها تناظر ظاهري. ثم إن المثال يوضّح أن قابلية مسألة للمكاملة تؤدي إلى ظهور خصائص جماعية بالغة الأهمية. لنكرّر مجددا أن خضوع سوليتون لاصطدام لا ينجم عنه سوى تأخر في انتشار الموجة. وإذا ما قُدّمت عدة سوليتونات من أية جهة من قناة، كلّ منها بسرعة وسعَة amplitude معينتيْن، فإن الحالة الإجمالية للنظام (بعد مختلف الاصطدامات) لا تتعلق إلا بالحالة الابتدائية للنظام (أي حالته قبل حدوث أول اصطدام)، وهي لا تتعلق بتسلسل التأثرات المتعاقبة. وعليه ينبغي إضافة هذه الخاصية ـ المتمثلة في اللاتغيّر بمبادلة permutation الاصطدامات ـ إلى قائمة الخصائص من هذا القبيل ـ مثل اللاتغيّر بالدوران ـ التي يحيط بها المختصون في المسائل القابلة للمكاملة.

ويمكن نقل فيزياء الموجات المنعزلة الهدرودينامية، وكذا تناظرها، إلى مسائل فيزيائية أخرى. لنعتبر مثلا حالة موصِل كهربائي أحادي الأبعاد يضم حشدا من الإلكترونات. إذا كان هناك إلكترون واحد، فإن معادلة شرودينكر Schrödinger ـ التي تمثل معادلة أساسية في

(*) Des objets invariants: les solitons hydrodynamiques

(1) profil: المنظر العام.





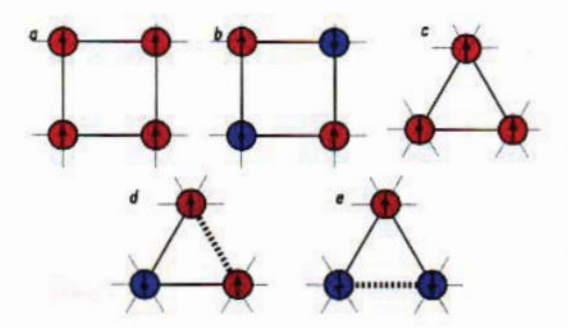
الشكل 3: عندما يتطور نظام أحادي الأبعاد عبر الزمن ـ كما تتطور مجموعة مصطفة من السبينات حيث يستطيع كل منها تغيير اتجاهه في كل «خطوة» زمنية (*الشكل الأيسر*) ـ فإن هذا النظام يصبح مكافئا لنظام ثنائي الأبعاد (*الشكل الأيمن*) يمكن دراسة خصائصه «السكونية» (أي تلك التي لا تتعلق بالزمن). وبفضل هذا التكافؤ يمكننا تطبيق طرائق مستخدمة لحل مسائل أحادية الأبعاد على نظم ثنائية الأبعاد.

الميكانيك الكمومي لأنها تتحكم في تطور *الدالة الموجية* ـ تتنبأ بانتشار الدالة الموجية للإلكترون عبر الزمن: بمعنى أن الدالة لا تحافظ على شكلها. لنتخيّل الآن وجود عدد كبير من الإلكترونات، ولنفترض أنها لا تتأثر فيما بينها إلا عند نقطة التقائها، وهنا تتنافر بشدة. ضمن هذه الشروط، فإن الدالة الموجية الكلية للنظام ذي الطاقة المثبتة ـ وهي تكافئ مُركب دوال موجية لجسيم واحد ـ تحافظ على بنيتها عبر الزمن شأنها في ذلك شأن موجة منعزلة.

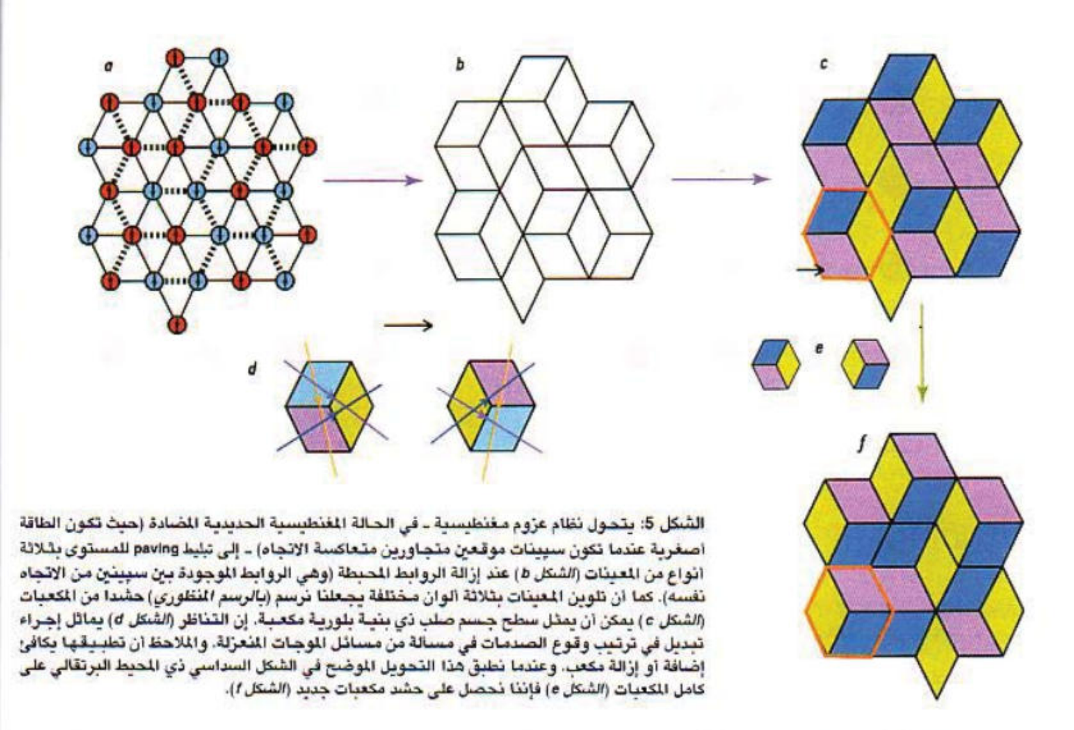
وهكذا فإن اللاتغيّر بمبادلة الاصطدامات ينتقل أيضا إلى هذا النظام المؤلف من جسيمات كمومية متأثرة عند نقاط تماسها. ماذا يحدث عندما يقع اصطدام بين جسيمين تابعين لنظام كمومي قابل للمكاملة؟ نلاحظ – كما هي الحال بالنسبة إلى السوليتونات المعهودة ـ أن ملامح الدوال الموجية تُحْفَظ خلال الاصطدامات، وأن التأثير الوحيد لتلك الاصطدامات هو تأخر محتمل مقارنة بالانتشار الحرّ (أي الانتشار من دون اصطدامات). ومن ثمّ نثبت أن ترتيب وقوع الاصطدامات في النظام ليس له أهمية ذات شأن. والتأخرات المتراكمة وحدها هي التي لها أهمية. وكما هي الحال بالنسبة إلى السوليتونات الهدروديناميكية، فإن قابلية المكاملة لهذه المسألة ناجمة عن خاصية اللاتغيّر بمبادلة الصدمات بين الجسيمات. لذا باستطاعتنا استنتاج جميع خصائص النظام انطلاقا من وصف الصدمات بين جسيمات ثلاثة (*انظر الشكل 2*).

إننا لم نتطرق حتى الآن إلا لأنظمة أحادية الأبعاد ـ وهذا إما لكونها هكذا بشكل صريح، وإما لأن التناظرات كانت تسمح باختزال ضمني لمسألة متعددة الأبعاد فتردّها إلى عدة مسائل مستقلة أحادية الأبعاد. والجدير بالذكر هنا أنه لا توجد مبرهنة تشير إلى أن المسائل الأحادية الأبعاد هي المسائل الوحيدة القابلة للمكاملة. لكن الواقع ينبئنا بأن حل المسألة يزداد تعقيدا بقدر تزايد عدد أبعادها.

ويمكن الانتقال من حالة بُعْدٍ واحد إلى حالة بُعْدين باعتبار أن جملة أحادية الأبعاد تتطور عبر الزمن تمثل نظاما سكونيا ثنائي الأبعاد. لنلجأ مرة أخرى إلى المقارنة وذلك كما فعلنا لدى الانتقال من مسألة هدروديناميكية إلى مسألة جسيمات كمومية متأثرة. فعندما أشرنا إلى حالة الإلكترونات المتحركة على مستقيم كنا نريد وصف تطوّر مواقعها (أو بالأحرى، احتمال وجودها) عبر الزمن. لننظر إلى هذا النظام من زاوية أخرى. تكون الإلكترونات في لحظة معينة في هيئة ما تحدّدها مواقعها أو تحدّدها متغيرات أخرى. وفي اللحظة التالية تتغيّر هذه الهيئة، وهكذا دواليك. لنتخيّل الآن أننا وضعنا هذه «اللحظات» جنبًا إلى جنب. يمكن أن نعتبر من الناحية النظرية بأننا تحصلّنا بذلك على نظام سكوني ذي بعدين (*انظر الشكل 3*).



الشكل 4: عندما نعتبر حالة جسم مغنطيسي حديدي فإن طاقة تفاعل سبينين متجاورين طاقة أصغرية إذا ما كان للسبينات الاتجاه نفسه (جميعها متوازية). ويمكن إجمالا تحقق هذا الشرط سواء تعلق الأمر بشبكة مربعة (*الشكل a*) أو بشبكة مثلثية (*الشكل c*). وخلافا لذلك فإن طاقة التأثر في حالة جسم مغنطيسي حديدي مضاد تكون أصغرية عندما يكون للسبينين المتجاورين اتجاهان متعاكسان. وهنا يمكن الا نخل بهذا الشرط في جميع نقاط شبكة مربعة (*الشكل b*) لكننا لا نستطيع ذلك في شبكة مثلثية (*الشكلان d و e*). وينبغي ان نلاحظ في شبكة مثلثية مغنطيسية حديدية مضادة ان السبينات الثلاثة المتجاورة لا يمكن ان تكون جميعها متضادة التوازي: إذا كان سبينان متضادي التوازي، فإن ثالثهما يوازي أحدهما. ومن ثم فلابد أن يكون هناك «إحباط» للروابط الواصلة بين السبينات المتجاورة؛ وهناك على الأقل ثلث عدد اتجاهات السبينات يستحيل إخضاعه لقيد التوازي المضاد.



الشكل 5: يتحول نظام عزوم مغنطيسية ـ في الحالة المغنطيسية الحديدية المضادة (حيث تكون الطاقة أصغرية عندما تكون سپينات موقعين متجاورين متعاكسة الاتجاه) ـ إلى تبليط paving للمستوى بثلاثة أنواع من المعينات (*الشكل b*) عند إزالة الروابط المحبطة (وهي الروابط الموجودة بين سپينين من الاتجاه نفسه). كما أن تلوين المعينات بثلاثة ألوان مختلفة يجعلنا نرسم (*بالرسم المنظوري*) حشدا من المكعبات (*الشكل c*) يمكن أن يمثل سطح جسم صلب ذي بنية بلورية مكعبة. إن التناظر (*الشكل d*) يماثل إجراء تبديل في ترتيب وقوع الصدمات في مسألة من مسائل الموجات المنعزلة. والملاحظ أن تطبيقها يكافئ إضافة أو إزالة مكعب. وعندما نطبق هذا التحويل الموضح في الشكل السداسي ذي المحيط البرتقالي على كامل المكعبات (*الشكل e*) فإننا نحصل على حشد مكعبات جديد (*الشكل f*).

من حالة بُعْد واحد إلى حالة بُعْدين[*]

يتمثّل تغيير وجهة نظرنا للمسألة في اعتبار **الهيئات** configurations المختلفة لنظام أحادي الأبعاد على فترة زمنية معينة بمثابة مجموعة هيئات سكونية لنظام ذي بعدين في لحظة واحدة. وهكذا نَلْمَح كيف يمكن أن تعمَّم الطرق المطبقة على الأنظمة الأحادية الأبعاد القابلة للمكاملة لتشمل دراسة الظواهر السكونية ذات البعدين.

غير أن ما يشغل بال الفيزيائيين في كثير من الحالات هو الخصائص السكونية للنظام. ذلك ما نلحظه في الترموديناميك، وفي الفيزياء الإحصائية، حيث يتركز اهتمامنا على تغيرات حالة جسم بدلالة درجة الحرارة أو الضغط أو حقل مغنطيسي خارجي أو مقدار فيزيائي آخر. إن نمط النماذج المستخدمة من قبل المختصين في الفيزياء الإحصائية هو نموذج أيزنك Ising، الذي أدخله الفيزيائي الألماني ‹W. لنز› عام 1920 ثم واصل البحث فيه تلميذه ‹E. أيزنك›. ويتمثل النموذج في شبكة نقاط موزّعة بصفة دورية نضع فوقها عزوماً مغنطيسية، المكافئ الميكروسكوبي لمغنطيسات صغيرة. ومن حيث المبدأ، يمكن أن تكون لهذه الشبكة أبعاد فضائية بالقدر الذي نريد، كما أن شكلها الهندسي يمكن أن يكون كيفيا. وفي أبسط الحالات، التي تفيد مثلا في نمْذجة بلّور مغنطيسي، نجد أن الشبكة مكعبة cubic والعزوم المغنطيسية تمثّل سپين spin (أي **العزم المغنطيسي الذاتي** intrinsic) ذرّات الشبكة البلّورية. إضافة إلى ذلك، فإننا نفترض أن العزوم المغنطيسية لا تأخذ سوى قيمتين متعاكستين في الاتجاه، وأنها لا تتأثر إلا مع أقرب جيرانها.

نقول عن التأثر إنه مغنطيسي حديدي إذا مال كل سپينيْن متجاوريْن إلى التوجه نحو الاتجاه نفسه. وعليه نجد في حالة انخفاض درجة الحرارة ـ عندما تكون التقلّبات الحرارية ضعيفة ـ أن عددا كبيرا من السپينات يتجه نحو الاتجاه نفسه: ذلك أن هناك مغنطة شاملة للمادة المستعملة. وعندما تكون درجة الحرارة المطلقة منعدمةً فإن جميع السپينات تركُن في الاتجاه نفسه وتكون المغنطة أعظمية. وعلى العكس من ذلك، عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة فإن التقلّبات الحرارية تتغلب على التأثرات المتبادلة: يكون للعزوم المغنطيسية اتجاه عشوائي وتكون المغنطة الشاملة الناجمة عنها معدومة. وهكذا عندما ترتفع درجة الحرارة فإن **طور** phase النظام يتغيّر، حيث ينتقل من طور ممغنط إلى طور غير ممغنط.

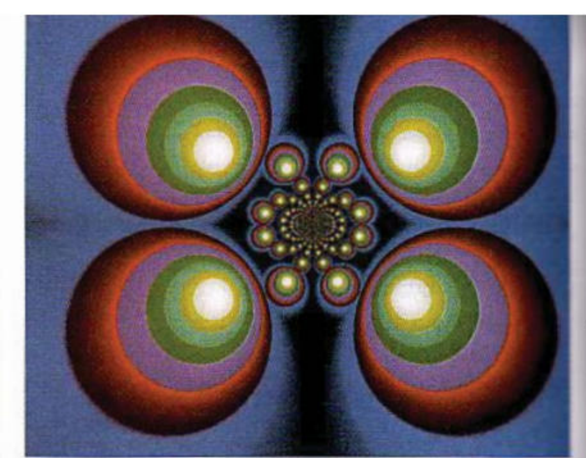
يسمح نموذج ‹أيزنك› ومشتقاته بوصف مختصر لبعض نواحي عدد كبير من الظواهر: من تغيّر الأطوار المغنطيسية إلى تأثرات الجسيمات الأولية مرورا بالتحول سائل-غاز. لنركّز الآن على الحالة ذات البعدين. فبفضل التشابه القائم بين نظام سكوني ذي بعدين ونظام أحادي الأبعاد يتطوّر عبر الزمن يمكن القيام بحساب مضبوط لنموذج ‹أيزنك› في حالة بعدين، وكذا حساب متغيرات ترموديناميكية أخرى. كان هذا الحلّ المضبوط عملا رياضياتيًا بالغ الأهمية، أنجزه عام 1944 الفيزيائي النرويجي ‹L. أونساجر›، وذلك بعد أكثر من عشرين سنة من تاريخ إدخال نموذج ‹أيزنك›.

نموذج ‹أيزنك›، نموذج مثالي للفيزياء الإحصائية[**]

يمكن بصفة عامة، في حالة بعدين، إنشاء نماذج قابلة للمكاملة لوصف ظواهر جماعية تؤدي إليها التأثرات الميكروية للجسيمات. ومن أبسط صيغ نموذج ‹أيزنك› نموذجه **المغنطيسي الحديدي المضاد** antiferromagnetic، حيث يساعد التأثرُ المتبادلُ على وجود اتجاهين

(*) De une à deux dimensions

(**) Le modèle d'Ising, archétype de la physique statistique



الشكل 6: نعتبر فسيفساء دورية تغطي المستوي مكوّنة من دوائر متمركزة (الشكل الأيسر، الخلية الأولية)، ثم نطبق عليها التحويل المطابق $z \to 1/z$ الذي يحول كل نقطة (x,y) إلى النقطة $[x/(x^2+y^2), -y/(x^2+y^2)]$. عندئذ نلاحظ أن مظهر الفسيفساء يتغير. فعلى سبيل المثال تصبح الدوائر غير متمركزة؛ لكنها تتحول إلى دوائر. إن هذه الخاصية لامتغيرة بالنسبة إلى التحويل. يسمح وجود اللامتغيرات للفيزيائيين بتصنيف نظم فيزيائية في الصنف نفسه في حين أنها قبليا مختلفة.

متعاكسين لعزمين مغنطيسيين متجاورين، وليس مساعدة الاتجاهات المتطابقة، كما هي حال النموذج المغنطيسي الحديدي. وهكذا نلاحظ في حالة شبكة مربّعة أن الحالة الأساسية ـ أي حالة الطاقة الأصغرية ـ لمجموعة العزوم المغنطيسية المعدومة الحرارة تمثّل بنية شبيهة برقعة الشطرنج: كل سپين محاط بسپينات اتجاهها معاكس لاتجاهه.

إن الوضع يزداد تعقيدا إذا ما عرّفنا النموذج على شبكة ذات هندسة مختلفة: مثلا، شبكة مثلثية. نجد في هذه الهندسة أن كل عزم مغنطيسي قريب من ستة جيران (*انظر الشكل 4*). عندما تكون درجة الحرارة جد منخفضة فإن عدد ثنائيات العزوم المغنطيسية المتجاورة والمتجهة في اتجاهات متعاكسة ينبغي أن يكون أعظميا. نقول عن ثنائية سپينيْن متجاوريْن متجهيْن باتجاه واحد إنها **مُحْبَطة** frustrated إلا أننا نرى بسهولة في حال شبكة مثلثية أن هناك ثنائيتيْن فقط من بين ثلاث يمكن أن تشكّلا معا روابط ملائمة، أي سپينات **متضادة التوازي** antiparallel.

وفي نموذج المغنطيسية الحديدية هناك حالة واحدة مستقرة الطاقة في درجة حرارة منخفضة: إنها الحالة التي تكون فيها العزوم المغنطيسية متجهة في الاتجاه نفسه. أما في حالة المغنطيسية الحديدية المضادة فيوجد عدد من حالات التوازن يساوي عدد إمكانيات ترتيب ثنائية العزوم المغنطيسية المحبَطة وغير المحبَطة على الشبكة. وعندما تكون درجة الحرارة منعدمة، فإن نموذج المغنطيسية الحديدية المضادة يقبل المكاملة. دعنا نحاول إدراك السبب. لنبدأ بإثبات أن هذا النموذج للمغنطيسية المحبَطة يكافئ مسألتيْن أخرييْن. من أجل ذلك نزيل الروابط المحبَطة، أي روابط الشبكة التي تصل عزوما مغنطيسية لها الاتجاه نفسه. وبذلك نشكّل **معيّنات** rhombuses ـ تتألف من ثنائيات مثلثية ـ تشترك في رابط محبط (*انظر الشكل 5*). إننا أمام مسألة **تبليط** paving عشوائي للمستوي ذات علاقة بفيزياء أشباه البلّورات. ونستخلص من ذلك أن هناك عددا من الحالات الأساسية في النموذج الابتدائي المغنطيسي الحديدي المضاد يساوي عدد التبليطات الممكنة للمستوي بوساطة معيّنات من تلك الأنماط الثلاثة.

توجد صياغة أخرى للمسألة نفسها تتمثل في استخدام ثلاثة ألوان للتمييز بين أنماط المعينات الثلاثة في التبليط، وهو ما يجعلنا نظهر (في رسم منظوري) تكدّسا ثلاثي الأبعاد يتألف من مكعبات. والواقع أن ذلك التكدس يعرِّف سطحا فاصلا لبلّورين مكعبي الشبكة، أحدهما مشكّل من تكدّس مكعبات والآخر مما تبقى. وعندما نصيغ بهذا الشكل نموذج «أيزنگ» المغنطيسي الحديدي المضاد فإنه يصبح مثالا لنموذج يدعى «**صلْب على صلْب**» solid on solid ويكتب اختصارا (SOS). وفي هذا الإطار، يمكننا استكشاف جميع الهيئات الممكنة للسطوح الفاصلة، أي تكدّسات المكعبات وذلك بإضافة أو إزالة مكعبات أولية بصورة متعاقبة.

في التمثيل المنظوري نلاحظ أن العملية الأولية الموافقة لإضافة أو إزالة مكعب تتمثل فقط في **المبادلة** permutation بين المعيّنات الثلاثة داخل الشكل السداسي. ثم إن هذا التحويل الأولي يذكّرنا بالمفهوم الأساسي في قابلية المكاملة: إنه استقلال سيرورات الاصطدامات عن الترتيب الزمني لحدوث تلك الاصطدامات. وعندما نترجم ذلك إلى لغة نموذجنا الإحصائي فإن اللاتغيّر المشار إليه هنا يؤدي إلى إمكانية استنتاج الخصائص الإجمالية للنظام من تعداد هيئات ثلاثة مواقع متجاورة. وفي إطار أعمّ للنظم القابلة للمكاملة يمكن التعبير عن هذا التناظر ـ الرابط بين الخصائص الإجمالية للنظام ومميّزاته المحلية ـ بوساطة علاقات رياضياتية، تدعى علاقات يانگ-بكستر Yang-Baxter، كان قد أدخلها في أواخر الستينات من القرن الماضي الفيزيائي الصيني «N. Ch. يانگ» والفيزيائي الأسترالي «R. بكستر».

التنوّع الموحّد(*)

تسمح قابلية المكاملة بإقامة روابط بين ظواهر فيزيائية متنوعة إلى حد كبير. وهكذا نلاحظ في نموذج موضّح على شبكة أن المركّبات الواقعة في عُقَد الشبكة تتأثر وفق قواعد يمكن للفيزيائي اختيارها بالشكل الذي يريده. وحسب التأثر المختار، فإن خصائص النظام يمكن أن تكون جدّ مختلفة. فعلى سبيل المثال نلاحظ في نموذج

(*) La diversité unifiée

التبليط بوساطة المعيّنات الوارد آنفا أن بعض الاختيارات للتأثرات المحلّية تضمن ارتباط توجيه أي معيّن بالمعيّنات التي تفصلها عنه مسافات كبيرة جدا. ومن ثمّ يحدث أحيانا أن تكون المسافات المميِّزة التي تؤثر فيها هذه الارتباطات، مسافات تقارب في مقاديرها حجم النظام بكامله. في هذه الحالة يكون الحديث عن نظم حرجة. ولنظم كهذه، لا تؤثر كثيرا التفاصيل على المستوى المحلي في الخصائص الإجمالية أو الجماعية. وفي النموذج sos مثلا، نستطيع أن نعوّض تكدّس المكعبات الصغيرة بسطح متصل من دون أن نفقد معلومات مفيدة في موضوع عرض المسألة ـ كما لو لاحظنا الوضع من بعد إثر إزالة تفاصيل الحالة الابتدائية.

وهكذا، وعلى ضوء ما ذكرنا آنفا، فإن ربط التفاصيل الميكروية للنموذج بالطبيعة «الحرجة» للنظام، يضمن تعادل النظر مجهريا لجزء من النظام مع النظر إلى النظام بكامله (*انظر الشكل 1*). وفي هذه الحالة نتحدث، على اللاتغيّر بتبديل السلم. وفي الحالة الخاصة للنظم الثنائية الأبعاد، يؤدي هذا اللاتغير إلى لاتغيّر إثر التحويلات المطابقة[1] المحلية، أي تلك التحويلات التي كان من المفترض أن تتغير تبعا لتغيّر السلم من نقطة إلى أخرى من نقاط النظام. تلك هي الفكرة التي استغلها عام 1984 الباحثون السوفييت «A. بلافين» و«A. پولياكوف» و «A. زمولودشيكوف» كي يرسوا أسس اللاتغيّر المطابق الثنائي الأبعاد[2].

اللاتغير وقابلية المكاملة(*)

يعتبر اللاتغيّر مؤشرا ينبئ بقابلية تلك النظم للمكاملة. وقد سمح ثراء بنية اللاتغيّر المطابق بفرز وتصنيف مختلف السلوكيات الحرجة التي يمكن أن تظهر في النظم الثنائية الأبعاد ذات التأثر المحلي (أي حيث لا تتأثر سوى المواقع المتجاورة). كما مكّن أخيرا من وضع جدول شبيه بجدول «مندلييڤ» يبرز الظواهر الجماعية لتلك النظم. وينبغي أن ندرك هنا أن كل عنصر من الجدول يوافق العديد من النظم على شبكة مستوية تشترك في كثير من السلوكيات الجماعية الحرجة: تسمى هذه العناصر صفوفا شمولية. فعلى سبيل المثال، نلاحظ أن جميع نماذج «أيزنك» المغنطيسية الحديدية الثنائية الأبعاد تنتمي إلى صف شمولية واحد، وذلك مهما كانت الشبكة المستوية المختارة. وعلى العكس من ذلك، فقد سبق أن رأينا أن الحالة المغنطيسية المضادة أقل «شمولية» لأنها مرتبطة ببنية الشبكة: نلاحظ أن بعض الأشكال الهندسية تؤدي إلى إحباط ثنائيات السپينات. لكن هذه الحالة التي تُطرح في كثير من المسائل الفيزيائية تسمح ببلوغ صفوف شمولية أخرى في الجدول المذكور. من جهة أخرى، فإن اللاتغيّر المطابق وجد تطبيقات حديثة تسمح بنمذجة مواد جديدة ذات أحجام نانومترية[3] ومن أجلها تم تبني وصف شبه أحادي الأبعاد.

وخلال العشرين سنة الأخيرة اكتسبت النظم القابلة للمكاملة، بفضل ثرائها البنيوي، مكانة مرموقة في الرياضيات والفيزياء. وكان ذلك قد بدأ باكتشاف صلة بين مفاهيم قابلية المكاملة ونظرية **الجبور** algebras غير التبديلية المرتبطة **بتباديل** permutations مجموعة أشياء. ذلك أن الرابط بين اصطدامات N جسيما وتباديل N جسيما يتمثّل في النظر إلى العناصر التي نجري عليها التبديل كأنها الجسيمات نفسها، علما بأن ترتيب مواقع الجسيمات يتبادل خلال كل اصطدام.

توفّر عناصر زمرة group التباديل الحل الأبسط لعلاقات يانگ-بكستر، كما أنها توافق جسيمات من دون تأثر. أما إذا كانت الجسيمات متأثرة فلابدّ من إجراء تعديل في صيغة الحل. وقد أثبتت الدراسة العامة لحلول معادلات يانگ- بكستر أنها دراسة مثمرة. ذلك أنها أدت في الرياضيات إلى ميلاد نظرية الزمر الكمومية التي أدخلها خلال التسعينات من القرن العشرين الروسي «V. دريرنفلد» (الحائز ميدالية فيلدز لعام 1990) والياباني «M. جيمبو» والپولندي «S. وورونوڤيتش» كما أنها أظهرت صلات مع نظرية العُقد استفاد منها بوجه خاص «V. جونس» (الحائز ميدالية فيلدز لعام 1990).

تفرعات عدة في الفيزياء والرياضيات(**)

لقد جرت دراسة النماذج SOS الآنفة الذكر على صعيد آخر حيث تمّ اعتبار شبكات هندساتها تتغير عشوائيا من نقطة إلى أخرى، وذات طبولوجيات مختلفة. وقد اتضح أن هذه النماذج ذات الهندسات المتقلّبة قابلة للمكاملة أيضا، وأدى حلّها إلى تصنيف تأثيرات هندسة عشوائية في الظواهر الحرجة الثنائية الأبعاد. وبفضل دراسة نماذج مماثلة استطاع «M. كونتسڤيتش» (الحائز ميدالية فيلدز عام 1998، وعضو معهد الدراسات العليا العلمية الفرنسي IHES، الواقع في ضاحية بورس سوراڤيت الباريسية) تجديد الهندسة التعدادية[4]، وهي فرع قديم من فروع الرياضيات يُعنَى بتعداد أشياء (مستقيمات، مستويات، الخ.) خاضعة لعلاقات ذات صلة بتقاطعاتها. إضافة إلى ذلك، فإن هذه النماذج غالبا ما تُعتَبر كصياغات أولية لنظريات الأوتار التي تدعي أنها توحّد بين نظرية النسبية العامة والنظرية الكمومية.

وهكذا فإن دراسة النظم القابلة للمكاملة وعلاقات يانگ-بكستر تشعّبت اليوم وتولدت منها تفرعات عدة في الفيزياء والرياضيات. فعالم قابلية المكاملة، عالم شبيه بنظام بيئي، توسّع بشكل معتبَر مقتحما فروعا فيزيائية ورياضياتية بكاملها فصارت جميعها تشكّل اختصاصا جديدا هجينا ـ يعيد النظر في مفاهيمه حرفيا من موضوع إلى آخر، مقيما بذلك جسورا بين حقول علمية لا صلة بينها قبليا[5]. ■

(*) Invariance et intégrabilité

(**) Des ramifications nombreuses en physique et en mathématiques

(1) conform

(2) l'invariance conforme bidimensionnelle

(3) النانومتر: وحدة قياس طول تساوي جزءا من بليون من المتر. وعلى سبيل المثال فإن سمك شعرة من شعر الإنسان يراوح بين 50 ألف و 100 ألف نانومتر. (التحرير)

(4) la géométrie énumérative

(5) a priori

المؤلفان

Denis Bernard - Philippe di Francesco

«برنارد» مدير أبحاث لدى المركز القومي للبحث العلمي الفرنسي CNRS. فاز عام 2004 بالميدالية الفضية لهذا المركز. «دي فرنسسكو» كان أستاذ رياضيات في جامعة شپل هيل بالولايات المتحدة الأمريكية، وهو فيزيائي لدى هيئة الطاقة الذرية الفرنسية. يعمل المؤلفان الآن في قسم الفيزياء النظرية بساكلي (فرنسا).

مراجع للاستزادة

O. BABELON, D. BERNARD et M. TALON, Introduction to classical integrable systems, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.

P. DIFRACESCO, P.MATHIEU et D. SÉNÉCHAL, Conformal field theory, Springer Verlag, New York, 1997.

تتمة الصفحة 25 (البيولوجيا العصبية للذات)

سرعة تأثرها هذه قد تساعد علماء الأعصاب على فهم بعض الاضطرابات الدماغية التي توهن الذات. ويقول <سيلي>: «من المستغرب أننا لا نعثر على تغيُّرات پاثولوجية معينة لداء الزايمر أو أشكال الخرف الأخرى لدى الأنواع الحيوانية غير البشرية.»

وحسب رأي <سيلي>، تتفق نتائج دراسات التصوير الدماغي الحديثة عن الذات مع نتائجه ونتائج غيره على المصابين بداء الزايمر وأنواع الخرف الأخرى. فالمصابون بداء الزايمر تتكون لديهم بروتينات متحابكة tangled في عصبوناتهم. ويُعدُّ الحصين والطَّلَل بعض أولى المناطق المتضررة بذلك، وهما من الباحات الدماغية التي تشارك في ذاكرات **السيرة الذاتية** autobiography. ويقول <سيلي> في هذا الصدد: «إنهما تساعدانك على استحضار صور ماضيك ومستقبلك إلى العقل وتتلاعبان بها. ويكون المصابون بداء الزايمر أقل مقدرة على الانتقال إلى الأمام والخلف عبر الزمن بشكل سَلِس.»

كم هو مفجع لأفراد الأسرة رؤية محبوبهم مستسلما لداء الزايمر، وهناك أنواع أخرى من الخرف قد تكون ذات تأثيرات أشد عنفا على الذات. ففي حالة تعرف **بالخرف الجبهي الصدغي** frontotemporal dementia تنتكس قطاعات من الفصَّين الجبهي والصدغي. وفي كثير من الحالات يُصيب التلف القشرة المخية أمام الجبهية الوسطى. وحين يبدأ هذا المرض يبطش بشبكة الذات يبدأ المرء يعاني تغيُّرات غريبة في شخصيته.

وفي مجلة **علم الأعصاب** *Neurology* لعام 2001، وصف <سيلي> وآخرون معه مريضة كانت تجمع الجوهرات والكريستالات الراقية فترة طويلة من عمرها قبل أن تبدأ فجأة بجمع حيوانات محنَّطة يوم بلغت سن الثانية والستين. ومع أنها **محافظة** conservative، فقد بدأت تؤنب الناس الذين يشترون الكتب ذات الصبغة المحافظة في دور البيع وأعلنت أنّ: «الجمهوريين يجب استئصالهم من البسيطة.» وثمة مرضى تحولوا عن دينهم فجأة إلى أديان جديدة أو استحوذهم وسواس الرسم أو التصوير. ولكن هؤلاء المرضى لا يدرون لماذا لم يعودوا يحتفظون بذواتهم القديمة. ويقول <سيلي> في هذا الصدد: «إنهم يقولون أشياء سطحية جدا (مثل: هذا ما أنا عليه الآن وكفى).» ونشير إلى أن الخرف الجبهي الصدغي يمكن أن يقود إلى الموت خلال سنوات قليلة.

يعتقد <M. كازانيكا> [مدير مركز دارتموث للعلوم العصبية المعرفية وعضو المجلس الرئاسي حول الأخلاقيات البيولوجية] أن حلّ لغز الذات قد يطرح نوعا جديدا من التحدي الأخلاقي. فهو يقول: «أظن أن ثمة مسارا سيتمثل في تفصيص دارات الذات إلى: **الذاكرة المرجعية للذات** self-referential memory، **وتوصيف الذات** self-description، و**الشخصية** personality، و**إدراك الذات** self-awareness، وأن ثمة مسارا سيتمثل في الحس بما يجب أن يكون مناسبا لجعل الذات ناشطة.»

ويوحي <كازانيكا> بأن الأمر قد يصل إلى إمكانية أن يستطيع المسح الدماغي ذات يوم أن يحدد ما إذا كان داء الزايمر (أو بعض أنواع الخرف الأخرى) قد أتلف الذات لدى المصاب به.

ويتساءل <كازانيكا> عما إذا كان الناس سيبدؤون أخذ موضوع **ضياع الذات** loss of the self بعين الاعتبار حين يكتبون وصية الممات أثناء حياتهم. ويتنبأ <كازانيكا> قائلا: «ستظهر تعاليم جديدة. وستكون القضية فيما إذا كنت ستوفر الرعاية الصحية لهؤلاء. فإذا أصيب الناس بمرض ذات الرئة، هل ستعطيهم مضادات (صادّات) حيوية أم تتركهم يرحلون؟»

أما <سيلي> فيقدِّم نبوءة محافظة أكثر، إذ يجادل بأن المسح الدماغي بحد ذاته قد لا يغير عقول الناس بخصوص ما يتخذونه من قرارات حول الحياة والموت. فهو يعتقد بأن القيمة الحقيقية لعلم الذات ستظهر في معالجات داء الزايمر وأشكال الخرف الأخرى. ويقول في هذا الصدد: «يوم نعرف المناطق الدماغية التي تضطلع بتمثيل الذات، أظن أننا سوف نلمُّ بنظرة أكثر قربا في تحديد الخلايا ذات الأهمية في تلك المنطقة الدماغية، ومن ثم نعمِّق النظر باتجاه الجزيئات داخل الخلايا وباتجاه الجينات التي تحكم تلك الجزيئات وصولا إلى سرعة **التأثر** vulnerability هذه. وإذا ما حققنا ذلك نكون قد اقتربنا أكثر فأكثر من معرفة آليات هذا الداء، وعلاجه، وذاك هو أفضل سبب لدراسة كل هذا. إن الأمر لا يقتصر على مجرد تبصير الفلاسفة.» ■

المؤلف

Carl Zimmer

صحفي يقيم في كونكتيكوت. وقد جرى نشر أحدث كتبه مؤخرا تحت عنوان: «Soul Made Flesh: اكتشاف الدماغ وكيف غيَّر العالم».

مراجع للاستزادة

A Self Less Ordinary: The Medial Prefrontal Cortex and You. C. Neil Macrae, Todd F. Heatherton and William M. Kelley in *Cognitive Neurosciences III.* Edited by Michael S. Gazzaniga. MIT Press, 2004.

Is Self Special? A Critical Review of Evidence from Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience. Seth J. Gillihan and Martha J. Farah in *Psychological Bulletin*, Vol. 131, No. 1, pages 76–97; January 2005.

The Lost Self: Pathologies of the Brain and Identity. Edited by Todd E. Feinberg and Julian Paul Keenan. Oxford University Press, 2005.

Conflict and Habit: A Social Cognitive Neuroscience Approach to the Self. Matthew D. Lieberman and Naomi I. Eisenberger in *Psychological Perspectives on Self and Identity*, Vol. 4. Edited by A. Tesser, J. V. Wood and D. A. Stapel. American Psychological Association (in press). Available online at www.scn.ucla.edu/pdf/rt4053_c004Lieberman.pdf



المجلد 22 ـ العددان 2/1
يناير/فبراير 2006

Majallat AlOloom

مسرعات پلازمية(*)

طريقة جديدة لتسريع الجسيمات، تَعِد بإطلاق عدد كبير من التطبيقات. وفي هذه الطريقة «تَرْكَب» الجسيمات مَتْن موجة من البلازما.

<Ch. جوشي>

يستخدم الفيزيائيون **مسرِّعات الجسيمات** particle accelerators للإجابة عن بعض أكثر الأسئلة عمقا حول طبيعة الكون. وهذه الآلات الضخمة تسرِّع الجسيمات المشحونة لتبلغ سرعة الضوء تقريبا، ثم تُصادمها بعنف معا معيدة بذلك خلق الشروط التي كانت موجودة حين وُلد الكون بعنف فجأة في **الانفجار الأعظم** big bang. ويأمل الفيزيائيون، من تحليل الحطام الناتج من التصادمات، أن يفهموا كيف أن القوى والجسيمات الموجودة في كوننا، والتي تبدو متباينة، مترابطة جميعا، وأنها توصف بنظرية موحدة. لكنْ، من سوء الطالع، كلما اقترب الفيزيائيون من حل لغز الخلق هذا أكثر، احتاجوا إلى مسرِّعات ذات استطاعة (وتكلفة) أكبر.

إن أضخم مسرِّعات الجسيمات هو **المصادم الهادروني الكبير** Large Hadron Collider (LHC) ذو القطر البالغ 8.6 كيلومتر، والذي يجري بناؤه حاليا في المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات CERN على الحدود الفرنسية السويسرية. وبعد استكمال بناء هذا المصادم عام 2007، يجب أن تُخبرنا تصادمات حزمتيه البروتونيتين، وطاقة كلٍّ منهما 7 تريليونات إلكترون فلط (7 TeV)، بما يعطي الجسيمات كُتلَها [انظر: «*ألغاز الكتلة*»، **العلوم**، العدد 12 (2005)، ص 12]. وتحاول آلات أخرى، قيد العمل حاليا، توضيح سبب احتواء الكون من المادة أكثر مما يحوي من المادة المضادة، وتعطينا تلك الآلات لمحة عن حالة المادة البدائية المدعوة **پلازما الكواركات والگلوونات** quark-gluon plasma. إن جميع هذه المصادمات تقوم على تقانة قديمة ضخمة الحجم عمرها عشرات السنين، وتُسرِّع الجسيمات فيها بالموجات الميكروية.

وخلال الأعوام الخمسة والسبعين الماضية أدت هذه الآلات وأسلافها إلى اكتشافات مهمة حول طبيعة الجسيمات الأساسية وحول سلوك المادة النووية. وجعل التقدم في علم مسرِّعات الجسيمات وهندستها ذلك السيلَ من الاكتشافات ممكنا، بتمكينه العلماء من بناء آلات ذات طاقة تتضاعف عشر مرات كلَّ عقد من الزمن. فهل سيستمر هذا التقدم؟ ربما تكون الآلات المعتمدة على الموجات الميكروية قد اقتربت من حدود ما هو مُجْدٍ تقانيا واقتصاديا. لقد ألغى الكونگرس عام 1993 مشروع المصادم الفائق ذي الموصلية (الناقلية) الفائقة Superconducting Super Collider project الذي تبلغ تكلفته 8 بلايين دولار، وهو المسرِّع الذي يبلغ قطره 28 كيلومترا، والذي يُفترض أن تكون استطاعته ضعف استطاعة المسرِّع LHC. ويأمل العديد من فيزيائيي الجسيمات الآن أن يلي المسرِّعَ LHC مُصادم خطي طوله 30 كيلومترا، لكنْ ليس هناك من أحد يستطيع أن يتنبأ بأن هذا المصادم، الذي تبلغ تكلفته عدة بلايين من الدولارات، سوف يكون أوفر حظا من المصادم الفائق.

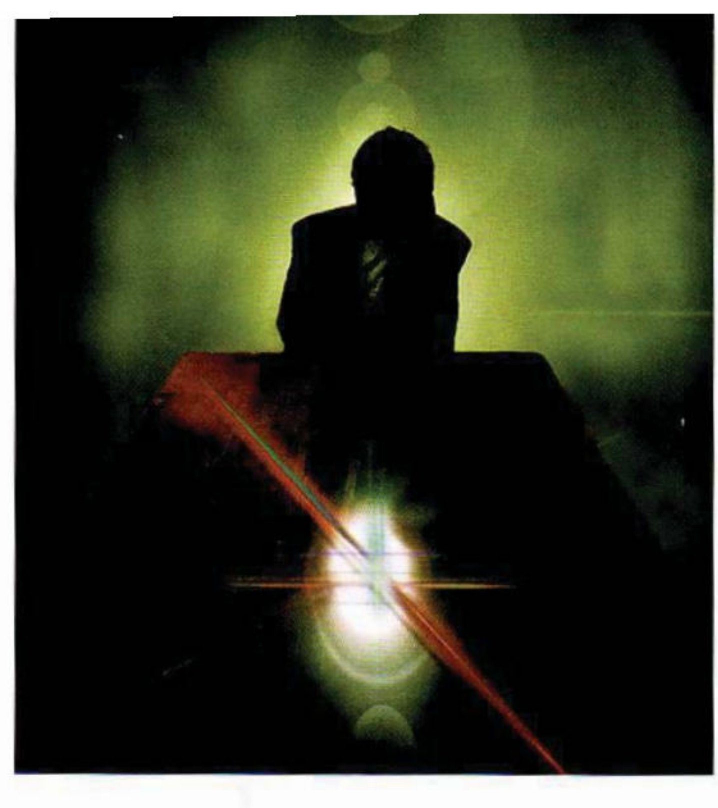
وربما تكون الطرائق الجديدة لتسريع الجسيمات، والتي تستخدم الحالة الرابعة من حالات المادة (بعد الحالات الصلبة والسائلة والغازية)، والتي تدعى پلازما[1]، قد أتت في الوقت المناسب مُبشِّرةً بالنجاح في تحقيق مسرِّع للفيزياء، عند أعلى الطاقات (100 بليون إلكترون فلط وأكثر). ويمكن لهذه الطريقة المعتمدة على البلازما أن تُنقص حجم مثل هذا المسرِّع وتكلفته بقدر مذهل.

ليست المسرِّعات العملاقة، العاملة بالقرب من الحدود العليا للطاقة التي تتطلَّبها الأبحاث الفيزيائية، سوى جزء من الحكاية. إذ تُستخدَم، إضافة إلى هذه المسرعات، آلات أصغر منها في علم المواد، البيولوجيا البنيوية، الطب النووي، أبحاث الاندماج، تعقيم الأطعمة، المعالجة التحويلية للنفايات

نظرة إجمالية/ ركوب مَتْن البلازما(**)

- استخدمَت مصادماتُ الجسيمات على مدى عقود فجوات الموجات الميكروية لدفع حزم الجسيمات إلى سرعة الضوء تقريبا. إن ذلك النهج، ممثلا بالمصادم الهادروني الكبير LHC الذي يبلغ قطره 8.6 كيلومتر يوشك أن يبلغ حدوده التقانية والاقتصادية.
- تَعِد تقنية جديدة، تكتسب فيها الإلكترونات أو البوزترونات الطاقة بركوبها متن موجة في غاز متأين، أي في پلازما، باختزال حجم وتكلفة هذه المسرِّعات العالية الطاقة التي يستخدمها فيزيائيو الجسيمات لدراسة مسائل من قبيل أصل الكتلة في الكون. لكن هذه التقنية لم تُستعرض حتى الآن إلا في تجارب مختبرية صغيرة.
- سوف تمكِّن الآلات البلازمية أيضا من بناء مسرِّعات يمكن وضعها على الطاولة، واستخدامها في مجال واسع من التطبيقات ذات الطاقة المنخفضة، ومنها علم المواد والبيولوجيا البنيوية والطب النووي وتعقيم الأطعمة.

(*) PLASMA ACCELERATORS
(**) Overview / Surfing on Plasmas
(1) plasma، أي غاز متأين. (التحرير)



ليست المسرِّعات التي يمكن وضعها على الطاولة، والتي تُنتج حزمَ إلكترونات في مجال الطاقة بين 100 و 200 ميكاإلكترون فلط (MeV)، سوى أحد أنواع الآلات التي أمكن صنعها بوساطة التسريع البلازمي.

النووية، معالجة بعض أنواع السرطان. إن هذه الآلات الصغرى تُنتج حزمَ إلكترونات أو بروتونات ذات طاقة منخفضة نسبيا، في مجال الـ100 مليون إلى بليون إلكترون فلط، لكنها مازالت تحتل حيِّزا كبيرا في المختبرات. أما المسرِّعات البلازمية المتراصَّة جدا، أو «مسرِّعات سطح الطاولة»، فتبشِّر بتوفير حزم إلكترونات في مجال الطاقة المذكور.

الموجات الميكروية مقابل البلازما(*)

قبل أن أشرح التقانة الجديدة، من المفيد مراجعة بعض أسس المسرِّعات. تُصنَّف المسرِّعات في بضعة أصناف واسعة فقط: فهي، أولا، تُسرِّع إما الجسيمات الخفيفة (الإلكترونات والبوزترونات)، أو الجسيمات الأثقل (مثل البروتونات والبروتونات المضادة). وثانيا، يمكن أن تُسرِّع الجسيمات في مرور واحد على طول خط مستقيم، أو في مدارات عديدة حول حلقة مستديرة. إن المسرِّع LHC، على سبيل المثال، هو حلقة تتصادم فيها حزمتان من البروتونات، أما المصادم الذي يأمل الفيزيائيون بناءه بعد المسرع LHC، فسيكون مصادما خطيا للإلكترونات والبوزترونات. وستكون الطاقة عند نقطة التصادم في البداية بجوار نصف تريليون إلكترون فلط. عند هذه الطاقة، يجب أن تسرَّع الإلكترونات والبوزترونات على خط مستقيم، لأن تسريعها في حلقة يسبب ضياعا زائدا للطاقة ينجم عن عملية تدعى الإشعاع السنكروتروني(1) synchrotron radiation. إن التسريع الخطي للإلكترونات والبوزترونات هو أكثر ما يناسب المسرِّعات المعتمدة على البلازما.

يسرِّع المصادم العادي الجسيمات بوساطة حقل كهربائي يتحرك متزامنا مع الجسيمات. وتولِّد بنية تدعى **تجويف الموجة البطيئة** slow wave cavity (وهي أنبوب معدني فيه حدقات متوضِّعة بفواصل متساوية) الحقل الكهربائي باستخدام إشعاع موجات ميكروية شديد. لكن استخدام البنية المعدنية يحدُّ من شدة حقل التسريع التي يمكن بلوغها. فعند حقل تراوح شدته بين 20 و 50 مليون فلط في المتر، يحدث انهيار كهربائي، أي يقفز الشرَّر وينفرغ التيار من جدران التجويف. ونظرا إلى أن الحقل الكهربائي يجب أن يكون أضعف من عتبة الانهيار، فثمة حاجة إلى مسار تسريع طويل للتوصُّل إلى طاقة معينة. على سبيل المثال، تحتاج حزمة التريليون فلط إلى مسرِّع طوله 30 كيلومترا. لذا، إذا تمكنا من تسريع الجسيمات بمعدل يفوق كثيرا ما تسمح به حدود الانهيار الكهربائي، أمكننا جعل المسرِّع أصغر حجما. وهنا يأتي دور البلازما.

في المسرِّع البلازمي، تقوم البلازما، وهي غاز مُتأيِّن، بدور بنية التسريع. ويصبح الانهيار الكهربائي جزءا من التصميم، بدلا من أن يكون مشكلة؛ لأن البداية تكون بتأيين الغاز. أما مصدر الطاقة هنا، فهو ليس موجات ميكروية، بل حزمة ليزرية أو حزمة جسيمات مشحونة.

تَعد المسرِّعات البلازمية التي توضع على الطاولة بتوفير حزم إلكترونات للتطبيقات المنخفضة الطاقة.

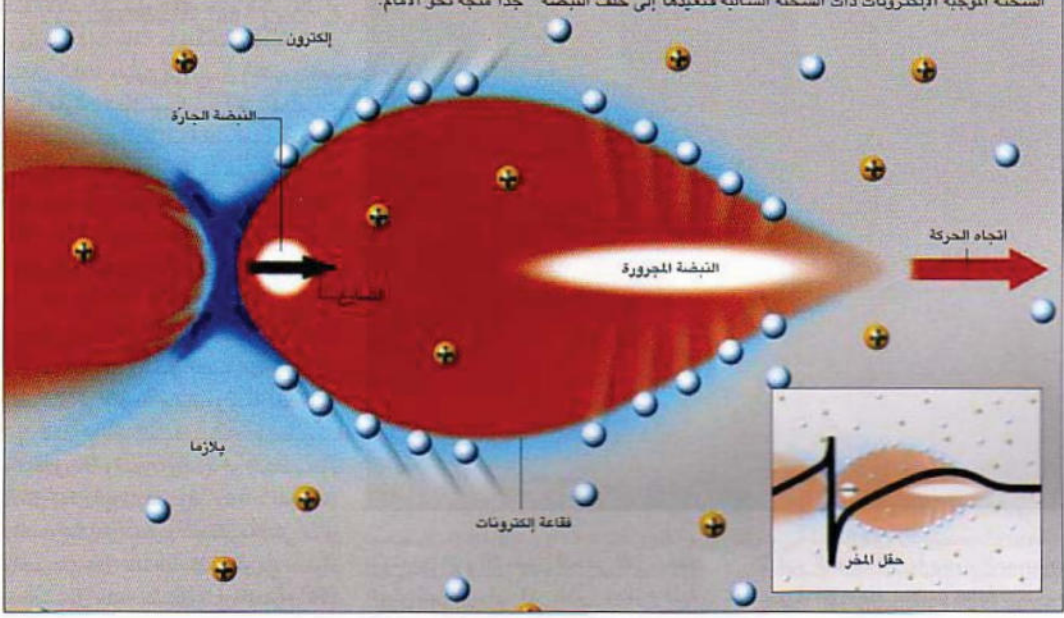
لا تبدو الحزم الليزرية وحزم الجسيمات المشحونة، أول وهلة، ملائمة تماما لتسريع الجسيمات. فمع أن حقولها الكهربائية شديدة جدا، فإن تلك الحقول في الغالب متعامدة مع اتجاه الانتشار. وكي يكون الحقل الكهربائي في المسرِّع فعالا، يجب أن يكون اتجاهه باتجاه حركة الجسيم. يدعى مثل هذا الحقل طوليا. ومن حسن الطالع، حين تُرسَل حزمة ليزرية أو حزمة جسيمات مشحونة عبر البلازما، يمكن أن يُحدِثَ التأثر معها حقلا كهربائيا طوليا.

(*) Microwaves vs. Plasma

(1) synchrotron، أي المسرِّع التزامن، وهو مسرِّع له شكل حلقة وتُحقَن فيه جسيمات تأتي من مسرِّع خطي. يُزاد في هذا المسرع تردد جهد التسريع وشدة الحقل المغنطيسي متزامنين معا لإبقاء نصف قطر مدار الجسيمات ثابتا أثناء التسريع. لذا نُعت بالمتزامن. أما الإشعاع السنكروتروني فهو الإشعاع الكهرمغنطيسي الذي تُصدره الجسيمات المسرعة، والذي تزداد طاقته مع ازدياد سرعتها. (التحرير)

نظام الفقاعة(*)

يعتمد مسرِّع حقل المَخْر على اضطراب شحنات، يُعرف بحقل المَخْر، لتوفير القوة الدافعة. إن النبضة الجارّة، التي يمكن أن تكون نبضة قصيرة من ليزر أو من حزمة إلكترونات، تدفع الإلكترونات (الأزرق) في غاز متأين، أي في بلازما، نحو الخارج لتُخلِّف وراءها منطقة موجبة الشحنة (الأحمر). وتجذب الشحنة الموجبة الإلكترونات ذات الشحنة السالبة فتعيدها إلى خلف النبضة الجارّة، مُشكِّلةً فقاعة إلكترونات حول المنطقة الموجبة. إن الحقل الكهربائي (مبيَّن في الأسفل)، الممتد على المحور الذي تتقدم الحزمة عليه، يشابه انبثاق موجة بحر تدرجها شديد الانحدار. ويجعل حقلُ المَخْر هذا نبضةً مجرورة من الإلكترونات الملتقطة بالقرب من مؤخرة الفقاعة تقع تحت تأثير تسارع شديد جدا متجه نحو الأمام.



تسير العملية بالطريقة التالية: البلازما بجملتها معتدلة كهربائيا، لأنها تحوي كميتين متساويتين من الشحنة السالبة (الإلكترونات) والشحنة الموجبة (الأيونات). لكن نبضة من حزمة شديدة من الليزر أو الجسيمات تولِّد اضطرابا في البلازما. إذ تدفع الحزمةُ الإلكتروناتِ الخفيفة بعيدا عن الأيونات الموجبة الثقيلة، التي تتخلف بدورها، وهذا ما يُحدِث منطقة ذات زيادة في الشحنات الموجبة، ومنطقةً ذات زيادة في الشحنات السالبة [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]. ويشكِّل الاضطراب موجة ترحل عبر البلازما بسرعة الضوء تقريبا. ويعمل الحقل الكهربائي الشديد المتجه من المنطقة الموجبة إلى المنطقة السالبة على تسريع أي جسيم مشحون يمكن أن يكون تحت تأثيره.

يمكن أن يوفر الوسطُ البلازمي حقولَ تسريع كهربائية ذات شدات مذهلة. إذ يمكن لبلازما تحوي 10^{18} إلكترونا في السنتيمتر المكعب (وهذا عدد ليس استثنائيا) أن تولِّد موجةً ذات حقل كهربائي تبلغ شدته عند الذروة 100 بليون ڤلط في المتر. وهذه شدة تفوق بأكثر من ألف مرة تدرُّجَ التسريع في مسرِّع عادي يعمل بالموجات الميكروية. أما الصعوبة هنا فهي أن طول الموجة البلازمية يساوي 30 ميكرونا فقط، في حين أن طول الموجة الميكروية يبلغ نحو 10 سنتيمترات عادة. ومن الصعب جدا وضع حزمة من الإلكترونات في موجة بلازمية بهذا الصغر.

كان الراحل <J .M داوسون> [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] أول من اقترح في عام 1979 هذه الطريقة العامة لاستخدام البلازما في تسريع الجسيمات. وقد استغرق الأمر أكثر من عقد من الزمن قبل أن يُستعرض تجريبيا ركوب الإلكترونات متْن موجات البلازما واكتسابها طاقة منها. وقد وجب لتحقيق ذلك ترويض ثلاث تقانات مختلفة، هي البلازما والمسرِّعات والليزرات، وجعلِها تعمل معا. وقد أنجزت مجموعتي في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس ذلك العمل الفذ دون لَبْس في عام 1993. ومنذ ذلك الحين كان التقدم في هذا المجال هائلا. وعلى وجه الخصوص، كانت ثمة نتائج مدهشة في تقنيتين تدعيان **مسرِّع حقل المَخْر**(1) **الليزري** laser wakefield accelerator **ومسرِّع حقل المَخْر البلازمي** plasma wakefield accelerator. ويبدو أن حقل المَخْر الليزري يَعِد في الوصول إلى مسرِّع صغير منخفض الطاقة، ويمتلك حقل المَخْر البلازمي إمكان إنتاج مصادم مستقبلي يعمل عند حدود الطاقة التي وصلت إليها فيزياء الجسيمات.

نبضات من الضوء(**)

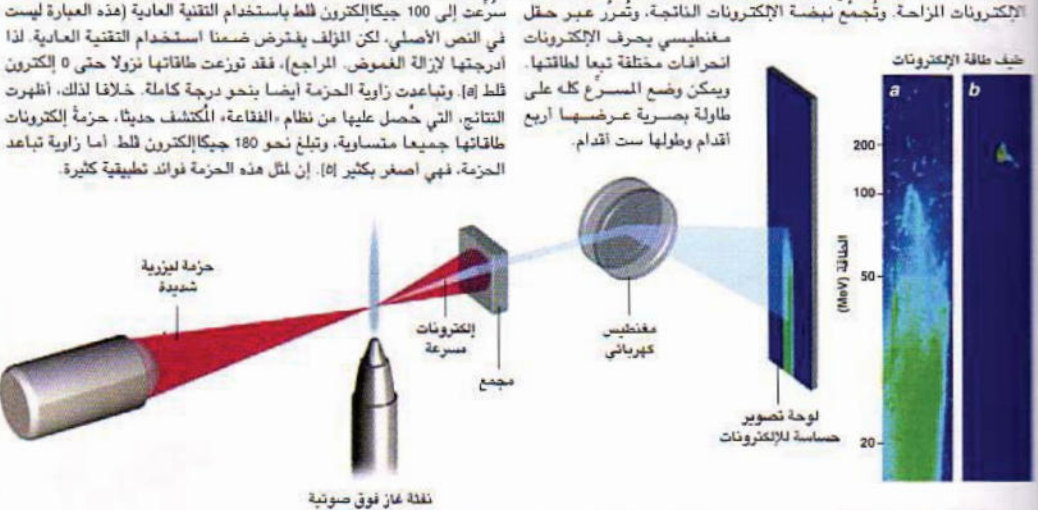
أصبحت المسرِّعات البلازمية الصغيرة ممكنة حاليا بفضل الليزرات الشديدة المتراصّة. فليزرات **التيتانيوم-سَفير**

(*) The Bubble Regime
(1) wakefield
(**) Pulses of Light

مسرِّع حقل المَخْر الليزري(*)

يتألف المسرِّع البلازمي الذي يوضع على الطاولة من حزمة ليزرية قوية جدا مسلَّطة على نفثة فوق صوتية من غاز الهليوم [*في اليسار*]. وتولِّد نبضة من الحزمة الليزرية بلازما في نفثة الغاز، ويسرِّع حقل المَخْر بعضا من الإلكترونات المزاحة. وتُجمِّع نبضة الإلكترونات الناتجة، وتُمرَّر عبر حقل مغنطيسي يحرف الإلكترونات انحرافات مختلفة تبعا لطاقتها. ويمكن وضع المسرِّع كله على طاولة بصرية عرضها أربع أقدام وطولها ست أقدام.

تبيِّن حزم الإلكترونات (*المستطيلان في اليمين*)، التي ولَّدها أول مسرِّع يوضع على الطاولة في مختبر البصريات التطبيقية بالمدرسة التقنية في فرنسا، كيف أمكن التغلب على أحد العوائق الرئيسية. فمع أن بعض الإلكترونات قد سُرِّعت إلى 100 جيكاإلكترون فلط باستخدام التقنية العادية (هذه العبارة ليست في النص الأصلي، لكن المؤلف يفترض ضمنا استخدام التقنية العادية. لذا أدرجتها لإزالة الغموض. المراجع)، فقد توزعت طاقاتها نزولا حتى 0 إلكترون فلط [a]. وتباعدت زاوية الحزمة أيضا بنحو درجة كاملة. خلافا لذلك، أظهرت النتائج، التي حُصل عليها من نظام «الفقاعة» المُكتشف حديثا، حزمةَ إلكترونات طاقاتها جميعا متساوية، وتبلغ نحو 180 جيكاإلكترون فلط. أما زاوية تباعد الحزمة، فهي أصغر بكثير [b]. إن لمثل هذه الحزمة فوائد تطبيقية كثيرة.



Titanium-Sapphire، التي تستطيع توليد استطاعة مقدارها 10 تيراواط (تريليون واط) في نبضات بالغة القصر، يمكن أن توضع الآن على سطح طاولة كبيرة [انظر: «ضوء بالغ الشدة»، **العلوم**، العدد 1 (2003)، ص 56].

في المسرِّع البلازمي، الذي يغذى بالطاقة الليزرية، تُركَّز نبضة ليزرية بالغة القصر داخل نفثة من الهليوم طولها نحو مليمترين. وتفصل النبضةُ فورا إلكترونات الغاز مولِّدةً البلازما. أما ضغط إشعاع طلقة الليزر، فهو كبير بقدر يجعل الإلكترونات، التي هي أخف كثيرا من الأيونات، تُقذَف في جميع الاتجاهات مخلِّفة وراءها الأيونات الثقيلة. ولا تستطيع هذه الإلكترونات الابتعاد كثيرا، لأن الأيونات تجذبها إلى الداخل. وحين تصل إلى المحور، الذي تسير عليه نبضة الليزر، تتجاوزه، وينتهي بها الأمر إلى الابتعاد عنه نحو الخارج من جديد، مولِّدةً بذلك اهتزازا يشبه الموجة [انظر الإطار في *الصفحة المقابلة*]. يدعى هذا الاهتزاز حقلَ المَخْر الليزري لأنه يقتفي نبضة الليزر كاقتفاء المَخْر لقارب ذي محرك على سطح الماء.

تشكِّل الإلكترونات في الواقع بنية تشبه الفقاعة. وبالقرب من مقدمة الفقاعة هناك نبضة الليزر التي تولِّد البلازما، وفي داخل الفقاعة هناك أيونات البلازما. وهذه البنية الفقاعية شديدة الضآلة، إذ يبلغ قطرها نحو 10 ميكرونات. ويشبه الحقل الكهربائي في الفقاعة موجة البحر، لكن تدرُّجه من ذروة الموجة إلى قعرها أشد انحدارا بكثير. ومع أن بنى أخرى ممكنة أيضا، يبدو أن استخدام نظام الفقاعة هو أفضل طريقة لتسريع الإلكترونات.

إذا حقن جهاز، من قبيل المدفع الإلكتروني، إلكترونا خارجيا قريبا من مكان فيه حشد كبير من الإلكترونات في البلازما، خضع الجسيم الجديد إلى حقل كهربائي يجذبه نحو الشحنات الموجبة داخل الفقاعة. إن الموجة تتحرك بسرعة الضوء، لذا يجب أن تكون سرعة حقن الإلكترون قريبة من هذه السرعة كي يلحق الموجة ويكتسب طاقة منها. لكننا نعلم، من نظرية النسبية، أن أي زيادة في طاقة الإلكترون تتجلى في معظمها ازديادا في كتلة الجسيم، لا في سرعته. لذا، فإن الإلكترون لا يُجاري موجة البلازما مجاراة ذات شأن، بل يركب متنها، ويكتسب طاقة منها باستمرار. وتُؤسر بعض إلكترونات البلازما نفسها أيضا وتُسرَّع بهذه الطريقة، على غرار التقاط موجة البحر زبدَ الماء.

وفي عام 2002، بيَّن <V. مالكا> ومجموعته في مختبر المدرسة التقنية للبصريات التطبيقية Ecole Polytechnique's Laboratory of Applied Optics في فرنسا أنه أمكن توليد حزمة تحوي 10^8 إلكترونا باستخدام حقل مَخْر يسيِّره ليزر. وكانت الحزمة متجمِّعة تجمعا جيدا، أي مُبأَّرة بدقة. لكنْ، من سوء الطالع، توزَّعت طاقات الإلكترونات المسرَّعة على مجال واسع امتد من واحد إلى 200 مليون إلكترون فلط، في حين أن معظم التطبيقات تتطلَّب حزمة لإلكتروناتها جميعا الطاقة نفسها.

إن سَبَبَ هذا الاتساع في مجال طاقة الإلكترونات هو أن موجة حقل المَخْر التقطت الإلكترونات في مواضع مختلفة وفي أزمنة مختلفة. أما في المسرِّع العادي، فتُحقن الجسيمات التي يُراد تسريعها في مكان واحد بالقرب من ذروة الحقل الكهربائي. وقد ظن الباحثون أن مثل هذا الحقن الدقيق مستحيل في مسرِّع حقل المَخْر الليزري، لأن بنية التسريع صغيرة جدا وقصيرة العمر.

(*) Laser Wakefield Accelerator

الحرّاق البلازمي اللاحق(*)

جرى أخيرا عرض للتسريع بحقل المَخْر البلازمي في تجربة استُخدمت فيها حزمة من مُصادم ستانفورد الخطي. فقد أضاف المسرِّع طاقةً مقدارها 4 جيكاإلكترون فلط إلى حزمة إلكترونات في 10 سنتيمترات فقط، وهذا كسب في الطاقة كان سيتطلب مقطعا طوله 200 متر في مسرِّع عادي يعمل بالموجات الميكروية.

في هذه التجربة، بَخَّر فرن أقراصا من الليثيوم. وأيَّنت نبضةٌ إلكترونات شديدة [الأحمر] البخارَ فأنتجت البلازما. ودفعت النبضة إلكترونات البلازما [الأزرق] التي شكلت حينئذ حقلَ مَخْر، أو اضطرابا في الشحنة، خَلْف النبضة. وخضعت الإلكترونات الواقعة في حقل المَخْر ذاك إلى تسريع شديد [*الأسهم البرتقالية*].

إلكترونات البلازما

تسارع حقل المَخْر

قناة أيونات

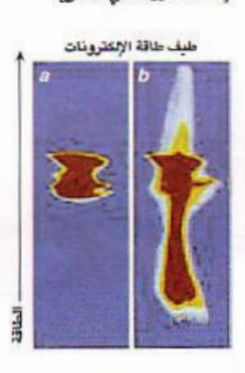
إلكترونات النبضة

بخار الليثيوم

أقراص الليثيوم

فرن

في غياب الليثيوم [a]، تساوت طاقات جميع إلكترونات حزمة المُصادم SLC، التي تساوي طاقتها 30 جيكاإلكترون فلط [*الطاقة ممثلة بالمحور الشاقولي*]. وبعد عبور الحزمة مسافة 10 سنتيمترات في بلازما الليثيوم [b]، خسر معظم جسيماتها طاقة صُرفت في توليد حقل المَخْر البلازمي [*الذيل الأحمر*]. وسرّع حقل المَخْر هذا عددا صغيرا من الإلكترونات التي وُجدت عند مؤخرة النبضة، رافعا طاقاتها [*المنطقة الزرقاء، في الأعلى*].



لكن مصادفة ميمونة أنقذت الموقف. فقد عثرت ثلاث مجموعات متنافسة، من الولايات المتحدة وفرنسا وبريطانيا، في الوقت نفسه من عام 2004 مصادفة على نظام فيزيائي جديد تحتشد فيه إلكترونات مأسورة ذاتيا في مجموعة واحدة، فتبلغ جميعا مقدار الطاقة ذاته. لقد استخدمت المجموعات الثلاث ليزرات ذات طاقة أعلى من ذي قبل، زادت على 10 تيراواط. وحين تنتشر مثل هذه النبضة الليزرية القوية عبر البلازما، تصبح أقصر وأضيق، فتخلق بذلك فقاعة إلكترونية كبيرة تأسر الإلكترونات من البلازما. وهذه الإلكترونات المأسورة ذاتيا كثيرة العدد إلى درجة أنها تَنتَزع مقدارا كبيرا من طاقة المَخْر، مؤدية إلى توقُّف أسر المزيد منها. وتسبق الإلكترونات ذات الطاقة العليا المَخْر، فتفقد بذلك شيئا من طاقتها، في حين أن الإلكترونات المتخلفة ذات الطاقة المنخفضة تستمر في اكتساب الطاقة.

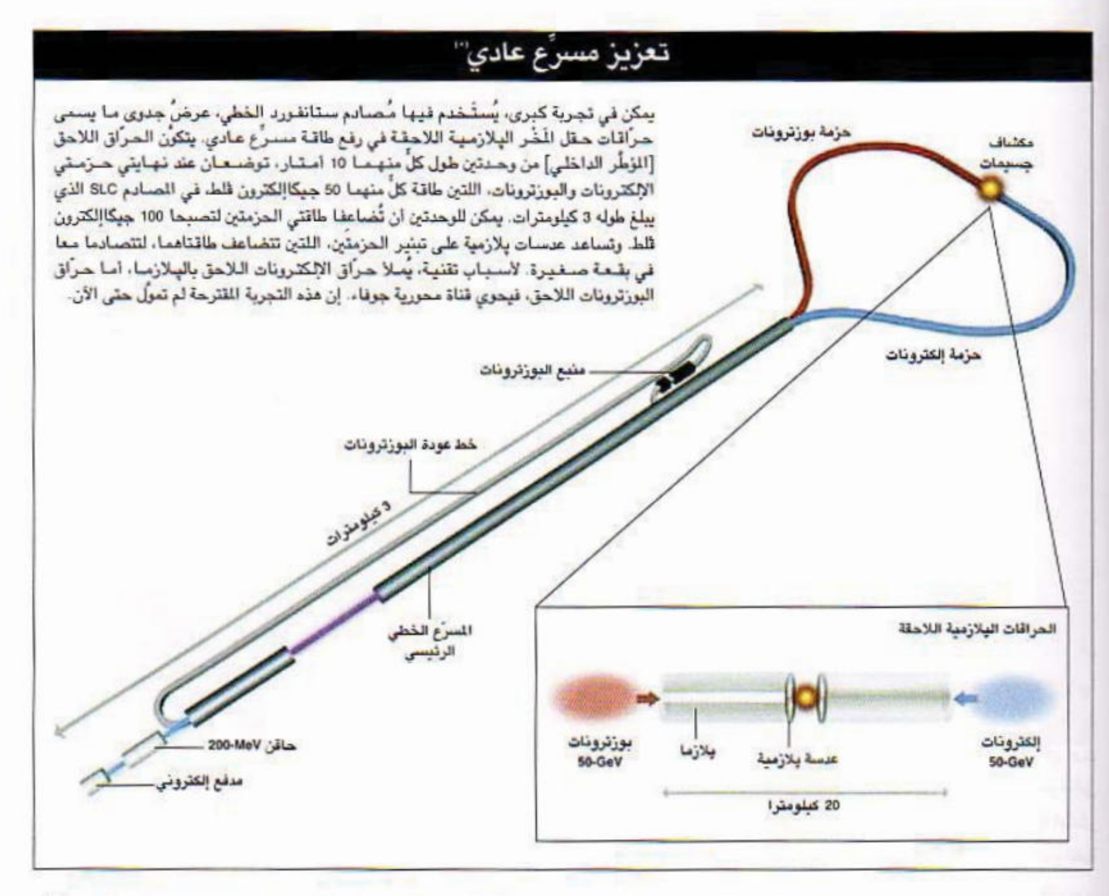
والنتيجة هي حزمة إلكترونات ذات مجال طاقة ضيق. ففي تجارب «مالكا»، على سبيل المثال، انخفض عرض مجال الطاقة إلى العُشر، مع وجود ما يصل إلى 10^9 إلكترونا في الحزمة. وكان عرض حزمة الإلكترونات الزاوي أضيق بكثير أيضا مما كان في التجارب السابقة، مضاهيا عرض أفضل الحزم التي تنتجها المسرِّعات الخطية العادية القائمة على الموجات الميكروية. وكان طول حزمة الإلكترونات الناتجة (وهي في الواقع نبضة) 10 فمتوثوان (10^{-14} ثانية) فقط، وهي أقصر نبضة أنتجها مسرِّع حتى الآن، وهذا ما يُغري باستخدامها لتكون مصدرَ إشعاع محتملا لفصل العمليات الكيميائية والبيولوجية الفائقة السرعة. ويمكن أيضا توجيه نبضة الإلكترونات نحو هدف معدني رقيق بغية إنتاج نبضة قصيرة من الأشعة السينية. وأتوقَّعُ (المؤلف) أن أرى في السنة أو السنتين المقبلتين تطبيقات للأشعة السينية

التي تولِّدها مسرِّعات توضع على الطاولة.

كيف يمكن للمرء زيادة طاقة حزمة الإلكترونات لتحقيق مسرِّع حقلِ مَخْرٍ ليزري ذي استطاعة تساوي بليون إلكترون فلط؟ إن الأمر يحتاج إلى توليد موجة بلازمية تستمر مسافة تبلغ نحو سنتيمتر بدلا من مليمترين فقط. لذا يجب إبقاء الحزمة الليزرية المهيِّجة للموجة شديدةً في البلازما مدة أطول، ويتحقَّق ذلك بتسييرها ضمن ما يسمى الليف البلازمي plasma fiber. إن إحدى الطرائق الواعدة، على وجه الخصوص، هي استخدام ليف بلازمي مشكَّل لهذا الغرض، وهذا ما يستقصيه باحثون في المختبر Lawrence Berkeley National Laboratory. في هذه الطريقة، تكون كثافة الإلكترونات على طول محور البلازما منخفضة، وهذا ما يجعل قرينة انكسار القناة البلازمية على طول المحور أعلى مما هي عند الأطراف، وهو

(*) Plasma Afterburner

تعزيز مسرِّع عادي(*)



يمكن في تجربة كبرى، يُستخدم فيها مُصادم ستانفورد الخطي، عرضُ جدوى ما يسمى حرّاقات حقل المَخْر البلازمية اللاحقة في رفع طاقة مسرِّع عادي. يتكوّن الحرّاق اللاحق [المؤطّر الداخلي] من وحدتين طول كلٍّ منهما 10 أمتار، توضعان عند نهايتي حزمتي الإلكترونات والبوزترونات، اللتين طاقة كلٍّ منهما 50 جيكاإلكترون فلط في المصادم SLC الذي يبلغ طوله 3 كيلومترات. يمكن للوحدتين أن تُضاعفا طاقتي الحزمتين لتصبحا 100 جيكاإلكترون فلط. وتساعد عدسات بلازمية على تبئير الحزمتين، اللتين تتضاعف طاقتاهما، لتتصادما معا في بقعة صغيرة. لأسباب تقنية، يُملأ حرّاق الإلكترونات اللاحق بالبلازما، أما حرّاق البوزترونات اللاحق، فيحوي قناة محورية جوفاء. إن هذه التجربة المقترحة لم تموّل حتى الآن.

الشرط المناسب كي تسلك القناة سلوك ليف ضوئي تسير الحزمة الليزرية ضمنه. وقد بيَّنت تجارب بركلي أن مثل هذه القنوات تولِّد حزم إلكترونات طاقة جميع الإلكترونات فيها متساوية. ويُتوقَّع أن تُنتج تحسينات أخرى لهذه الطريقة أول مسرِّع بلازمي صغير من صنف الجيكاإلكترون فلط في المستقبل القريب جدا.

الارتقاء إلى حدود الطاقة العليا(**)

كيف يمكن توسيع هذه المسرِّعات البلازمية العاملة بالليزر والسنتيمترية الأبعاد لتولِّد طاقات في مجال التيراإلكترون فلط (10^{12} eV) المهم لفيزيائيي الجسيمات؟ إن إحدى طرائق تحقيق ذلك هي وضع مئات من وحدات التسريع البلازمية المتراصَّة في سلسلة واحدة معا بحيث توفر كلٌّ منها ربحا طاقيا صافيا مقداره عدة جيكاإلكترون فلط. يمثِّل هذا التصميم، الذي يُدعى ترتيبا على مراحل، الكيفية التي تُركَّب بها مسرِّعات الموجات الميكروية بغية إنتاج طاقات عالية. لكن ترتيب المسرِّعات البلازمية على مراحل يعاني مشكلات شديدة التعقيد.

أما النهج البديل المفضل حاليا فهو ما يسمَّى **الحرّاق البلازمي اللاحق plasma afterburner**، وفيه يُضاعف مسرِّعُ حقل مَخْر بلازمي في مرحلة واحدة طاقة خرج مسرِّع عادي. في هذه الطريقة، يرفع المسرِّع العادي طاقة نبضتَيْ إلكترونات أو بوزترونات إلى عدة مئات من الجيكاإلكترون فلط. تحوي النبضة الأولى (وتدعى النبضة الجارَّة) من الجسيمات ثلاثة أضعاف ما تحويه النبضة الثانية المجرورة. ويبلغ طول كل من النبضتين، الجارَّة والمجرورة، عادة 100 فمتوثانية، ويفصل بينهما نحو 100 فمتوثانية. وكما في مسرِّع حقل المَخْر الليزري، وحين تركيز النبضة الجارَّة ضمن البلازما، تتولَّد فقاعةُ حقل المَخْر (على أن تكون الحزمة أكثف من البلازما). إن السيرورة هنا هي ذاتها كما في حالة حقل المَخْر الليزري، باستثناء كون الحقل الكهربائي لحزمة الجسيمات هو الذي يقوم الآن بالدفع بدلا من ضغط إشعاع الحزمة الليزرية. وتغلِّف فقاعة الإلكترونات الحزمةَ المجرورة التي تتسارع بمعدل عال بوساطة المركَّبة الطولية للحقل الكهربائي الناتج.

لقد أحدثَ مسرِّع حقل المَخْر البلازمي قدرا كبيرا من الإثارة في أوساط الفيزيائيين العاملين في تقنيات التسريع المتقدمة، وجعلت ثلاثة إنجازات مهمة هذه الطريقة شديدة الإغراء. وقد حقَّق تلك الإنجازات فريق من الباحثين الذين يعملون في جامعة

(*) Boosting A Conventional Accelerator
(**) Scaling Up to the Energy Frontier

التتمة في الصفحة 51

مجلة العلوم

المجلد 22 ـ العددان 2/1
يناير/فبراير 2006

Majallat
AlOloom

الذكاء الوجداني(*)

إن الذكاء ليس مجرد «نسبة ذكاء» IQ المرء، إذ إنه يقوم أيضا على مَلَكة إدراك الحالات الوجدانية لديه ولدى الآخرين وتفسيرها، وعلى معرفة كيفية التعبير عن هذه الحالات الوجدانية وإدارتها.

<D. كريوال> ـ <P. سالوفي>

منذ نحو عشر سنوات، يشهد مفهوم «الذكاء الوجداني» نجاحا متزايدا، فقد كُرِّس له العديد من المصنفات. وتفجّر اهتمام أجهزة الإعلام بموضوع الذكاء الوجداني في عام 1995 مع نيل كتاب الصحفي العلمي <D. كولمان> «**الذكاء الوجداني**» *Emotional Intelligence* جائزة أكثر الكتب رواجا. وقد كانت تلك الفترة بمثابة التربة الخصبة المثالية لتفتّح مفهوم الذكاء الوجداني، حيث وضعت حينذاك موضع الشك الفكرة القائلة إن «**نسبة الذكاء**» quotient intellectuel (QI)[1]، الذي يقيس الذكاء التحليلي، هي العامل الرئيسي في النجاح الاجتماعي والمهني، وحتى **العاطفي** sentimental. **وهنا ظهر** «الذكاء الوجداني» لكي يكون ملاذا في مواجهة قدرية «نسبة الذكاء» التي تُعزى لكل فرد من الأفراد مرة واحدة وإلى الأبد.

ولم يكن الذكاء الوجداني مجرد بدعة عابرة، إذ إنه أثار اهتمام الجميع. وما لم يكن إلا ميدانا غامضا من ميادين البحث في علم النفس، ازدهر خلال سنوات قليلة. وأصبح الشعار المرفوع هو: «تدرب على [تحسين] **نسبتك الوجدانية** quotient (QE) émotionnel». ومع ذلك، فقد قوبل مفهوم الذكاء الوجداني بانتقادات بالغة من قبَل المشتغلين بالبحث العلمي، حيث وجد عدد كبير منهم أن الذكاء الوجداني إنما يمثل كل سمة لا يستطيع اختبار نسبة الذكاء قياسها، ومنها على سبيل الأمثلة: الدافعية والثقة والتفاؤل أو «الخلق الطيب».

وعلى الرغم من هذا الاختلاط في الآراء، ظهر أن الذكاء الوجداني ميدان واعد من ميادين البحث، بل ظهر أكثر من هذا: إنه يمكن قياسه باعتباره مجموعة من الاستعدادات الذهنية. كما ساعدتنا الأبحاث المختلفة على فهم الدور الذي تؤديه المشاعر الوجدانية في حياتنا.

فماذا نعرف عن الذكاء الوجداني؟ لقد قادت أبحاث علماء النفس إلى أن يُعطى للذكاء الوجداني معنى أكثر تحديدا من معناه الرائج. ونحن نفضل أن نعرِّفه بأنه مجموعة نوعية من **المقْدرات** capacités ذات الصلة بتعرُّف المشاعر الوجدانية وإدارتها. وسوف نقدم هنا عرضا للتجارب التي أدت إلى إعداد نموذج للذكاء الوجداني وإلى تدبير أدوات لقياسه.

تجدد الاهتمام بموضوع الانفعالات(**)

يشكل مفهوم الذكاء الوجداني، في تاريخ علم النفس، مرحلة مهمة في فهم العلاقات بين العقل **والهوى** passion. وقد رأى الرواقيون اليونان والرومان[2] أن الانفعالات هي من الشدة والبعد عن إمكانية التنبؤ بها إلى حدٍّ تصبح معه غير مفيدة للتفكير العقلاني. وكانت الانفعالات في تصورهم مرتبطة «بالنساء»، ومن ثم فهي تميز الجوانب الضعيفة والدنيا من الإنسان. والقالب النمطي الذي يرى أن النساء قابلات للانفعال أكثر من الرجال لايزال مستمرا إلى اليوم. ومع أن تيارات متنوعة من الفكر، وبخاصة تيار الرومانتيكية[3]، قد أعلت من قيمة الانفعالات، فإن الرؤية الرواقية للطابع اللاعقلي للانفعالات قد استمرت مؤثرة حتى القرن العشرين.

ومع ذلك، فإن تطور علم النفس إبان القرن الماضي قد قلب رأسا على عقب مفاهيم عديدة. فقد قُدمت للذكاء تعريفات أوسع مما سبق، كما نُجمت آفاق جديدة بشأن العلاقات بين العواطف والفكر. ومنذ الأعوام 1930، اقترح عالم القياس النفسي <R. ثورندايك> أن الأفراد لهم ذكاء

(*) هذه ترجمة للمقالة بعنوان: L'intelligence émotionnelle

وقد آثرنا ترجمة العنوان «بالذكاء الوجداني» وليس «الانفعالي» تحديدا، لأن السياق في هذه المقالة يتعدى «الانفعال» بالمعنى الدقيق له (وهو استجابة شعورية تتميز بالاضطراب الحاد وتصاحبها تغيرات فيزيولوجية، تستمر عادة لفترة محدودة من الوقت، كما في حال الغضب أو الفرح)، إذ إن المقالة تتحدث مثلا عن السعادة وعن الملل وهما ليسا انفعالين بالمعنى الدقيق. كما تستخدم تعبيرات «العواطف» و«الحالات النفسية» و«الأحاسيس» وغيرها. وقد ترجمت بعض الكتابات العربية المصطلح أحيانا بـ«الذكاء العاطفي»، ولكن هذا بدوره لا يشتمل على الانفعالات جميعها. أما الصفة «وجداني» فإنها تشمل تلك المشاعر جميعها.

وقد نشرت هذه المقالة في عدد الشهر 2005/11 من مجلة *Pour la Science* الفرنسية، وهي إحدى أخوات **العلوم** الثماني عشرة التي تترجم مجلة *Scientific American*.

(**) Le renouveau des émotions

(1) QI المقابل الفرنسي لـIQ وهذه اختصار لـintellegence quotient نسبة الذكاء.

(2) مدرسة فلسفية تقيم الأخلاق على العقل، وتقول بأن الخير الوحيد هو الفضيلة، وتدعو إلى قمع كل الأهواء.

(3) مدرسة فنية أوروبية اهتمت بجانب الأحاسيس والعواطف لدى الإنسان مقابل الفكر. (التحرير)



الشكل 1: إن الذكاء الوجداني هو وجه من أوجه المقدرات المعرفية. وهو يضم كفايات متصلة بالانفعالات، ومنها: تعرف الانفعالات (في هذا الشكل: الرعب)، وتحليلها، واستخدامها بطريقة إيجابية والنجاح في إدارتها.

اجتماعي، أي مقدرة على إدراك أحوالهم الباطنية ودوافعهم وسلوكهم لهم وللآخرين، وعلى التصرف بناء على هذا كله. ولكن هذا العالم أقر فيما بعد أنه لا توجد إلا أدلة علمية قليلة على وجود ذكاء اجتماعي.

أشكال عديدة متمايزة للذكاء تمّ اقتراحها، ومنها «ذكاء **العلاقات بين الأشخاص**» intelligence interpersonnelle، وهو عظيم الشبه بمفهوم الذكاء الوجداني، ويمكن أن يسمح بالنظر إلى الانفعالات في مجموعها وبالتمييز بين العواطف، وبوضع تسميات لها، وبإدراجها في قوائم رمزية، من أجل فهم سلوك المرء وقيادته.

فهل يكون الذكاء الوجداني، إذًا، مجرد اسم جديد للذكاء الاجتماعي أو لأشكال أخرى من الذكاء سبق تعريفها؟ إننا نفضل، بدلا من اعتبار الذكاء الوجداني شكلا للذكاء الاجتماعي، تضييق تعريف الذكاء الوجداني واعتبار أن معالجة الانفعالات والمعارف المرتبطة بالانفعالات تشكل نمطا خاصا من الذكاء. وبهذا يتركز تصور الذكاء الوجداني على موضوع **الانفعالات** émotions، التي تؤدي دورا ليس فقط في العلاقات الاجتماعية، وإنما كذلك في الحياة الشخصية.

الانفعال، عونا على اتخاذ القرار[*]

في الأعوام التي تلت عام 1990، كشفت الأبحاث عن وجود صلات بين التفكير العقلي والانفعالات. فالأفراد عندما يتخذون قراراتهم يعتمدون عموما على الحجج المنطقية وهم يواجهون الاختيارات التي تعرض عليهم. ولكن ها هو <A. داماسيو> وزملاؤه [من جامعة أيوا] يثبتون أن الانفعال والعقل لا ينفصلان، وأنه في غياب الانفعالات قد لا تصير القرارات التي يتخذها الأفراد صائبة.

ففي إحدى التجارب التي أجراها «داماسيو»، كان يُطلب إلى الأشخاص المختبرين أن يرفعوا مكاسبهم إلى حدها الأقصى في لعبة تقوم على سحب مئة بطاقة على التعاقب من عُلَب مختلفة. وقد خُلطت البطاقات على نحو خاص، بحيث إن علبتين كانتا تحتويان على بطاقات تأتي بمكاسب عالية وعلى أخرى أيضا تتسبب في خسارات شديدة، وبحيث إن متوسط الخسارة في كل عشر بطاقات كان 250 يورو. أما العلب الأخرى، ذات المخاطرة الأقل، فإنها كانت تحتوي على بطاقات ذات مكاسب ضئيلة وخسارات قليلة، بحيث إن متوسط المكسب في كل عشر بطاقات يسحبها الشخص كان 250 يورو.

وقد كان بعض الأشخاص المختبرين مرضى بإصابات في **المنطقة قبل الأمامية للبطين الأوسط من القشرة المخية** lésions du cortex cérébral ventromedian préfrontal. والمرضى بهذا النوع من الإصابة يمارسون وظائفهم على نحو عادي، إلا أنهم غير قادرين على استخدام مشاعرهم الوجدانية عند اتخاذ القرارات. وأما الأشخاص المختبرون الآخرون فلم تكن بهم هذه الإصابات. ولم يكن بمقدور اللاعبين التنبؤ يقينا بأي العُلَب هي الحاملة لمخاطرة أعظم،

(*) L'émotion, aide à la décision

وكان يجب عليهم أن يركنوا إلى مشاعرهم لاختيار العلب التي تمكنهم من تجنب خسارة مالية.

ولم يكن المرضى بالإصابة المخية قادرين على وضع تلك الإحساسات في حساباتهم، فكانت خسائرهم أعلى من خسائر المشاركين في التجربة من غير المصابين بتلك الإصابة. وهكذا يظهر أن الإصابات المخية المانعة لظهور الانفعالات والعواطف يمكن لها أن تُحدث اضطرابا في عملية اتخاذ القرار. وقد استنتج «داماسيو» من هذا أن الأفراد لا يقومون بسلوكهم بالاعتماد على تقدير الآثار الموضوعية لأفعالهم فحسب، وإنما كذلك، وقبل كل شيء، بالركون الواثق إلى انفعالاتهم. إن الانفعالات والتفكير أمران مترابطان معا على نحو وثيق، والفصل بينهما يمكن أن تنتج منه نتائج مفجعة.

وقد قام أحدنا (سالوفي) مع «J. ماير» بتقديم مصطلح «الذكاء الوجداني» رسميا في عام 1995، معرفَيْن له بأنه يدل على المقدرة على مراقبة المرء لعواطفه هو نفسه وعواطف الآخرين، وعلى التمييز فيما بينها، وعلى استخدام هذه المعرفة من أجل توجيه تفكير المرء وأفعاله. وقد تطور هذا التصور من بعد ذلك، مع التأكيد على جانب العلاقات بين الانفعال والفكر. وكان علماء النفس، منذ نحو نهاية الأعوام 1970، قد قاموا بتجارب على مسائل إشكالية تقع على الحدود بين العاطفة والفكر، ومنها: آثار الاكتئاب في الذاكرة، وإدراك الانفعالات من خلال تعبيرات الوجوه، وكذلك أهمية ضبط الانفعالات والتعبير عنها.

لقد انبثق الذكاء الوجداني من هذه الأبحاث: إنه شكل للذكاء القابل للتحديد الكمي، والذي يعبر عن **المقدرة** capacité على التجريد وعلى الاكتساب بالتمرن وعلى التكيف مع البيئة. ومن أجل تنظيم بنية محاور البحث في العمليات المرتبطة بالانفعالات، قدمنا، مع باحثين آخرين في علم النفس، نموذجا للذكاء الوجداني يضم أربعة ميادين من المهارات المترابط بعضُها ببعض: المقدرة على إدراك الانفعالات، المقدرة على استخدام الانفعالات من أجل تيسير التفكير العقلي، المقدرة على فهم لغة الانفعالات، وأخيرا المقدرة على إدارة الانفعالات، ما كان منها انفعالات للشخص نفسه أو انفعالات للآخرين. إن هذه المقدرات تتفاوت ما بين فرد وآخر، وهي ذات آثار اجتماعية مهمة.

ويقوم إدراك الانفعالات على تحديد هوية الانفعالات المعبَّر عنها على الوجوه مثلا أو بالأصوات أو في الصور الفوتوغرافية أو في الموسيقى. وهكذا، فحينما يكون صديق لنا غاضبا، فإنه يكفي أن ننظر إلى وجهه لنخمن طبيعة حالته الذهنية. وهذا الإدراك سيكون واحدا من الأعمدة التي يقوم عليها الذكاء الوجداني، حيث إنه لا غنى عنه عند معالجة المعلومات الانفعالية. وهو فضلا عن ذلك أمر مشترك بين سائر الثقافات البشرية: فقد عَرَضَ «P. إكمان» [من جامعة كاليفورنيا في سان فرانسيسكو] على سكان من غينيا الجديدة صورا فوتوغرافية لأمريكيين تعبر عن انفعالات مختلفة، فأظهر هؤلاء أنهم قادرون على أن يتعرفوا بدقة الانفعالات المعبَّر عنها في تلك الصور، هذا مع أنه لم يسبق لهم مطلقا أن قابلوا أمريكيين، وأنهم قد نُشِّئوا في ثقافة مختلفة تماما.

أسئلة الاختبار MSCEIT(*)

ما الحالة الوجدانية التي يكون من المفيد الشعور بها عندما تلتقي بعائلة زوجتك للمرة الأولى؟

	غير نافعة				نافعة
a. التوتر	1	2	3	4	5
b. الاندهاش	1	2	3	4	5
c. الفرح	1	2	3	4	5

فلان يشعر بالقلق وبشيء من الإجهاد النفسي حين يفكر في الأشغال التي يبقى عليه أن ينجزها. وحين يكلفه رئيسه بمشروع إضافي، فإنه يحس بأنه:

a. مرهق　b. محبط　c. يغشاه الخزي　d. مرتبك　e. عصبي جدا

بأي درجة من الحدة تثير هذه الصورة العاطفتين التاليتين؟

a. الفرح	1	2	3	4	5
b. الحزن	1	2	3	4	5

إن الشعور بالاحتقار يمزج مزجا وثيقا جدا بين:

a الاندهاش والقلق
b. القلق والخوف
c. الغم والخوف
d. التقزز والقلق
e. الكره والشعور بالذنب

ولكن، إذا كان إدراك الانفعالات أمرا مشتركا بين جميع البشر، إلا أنه يتفاوت ما بين فرد وآخر. وقد أثبت «S. بولاك» [من جامعة وسكونسن - ماديسون] أن سوء المعاملة يمكن أن يُخِلّ بمقدرة الأطفال على إدراك تعبيرات الوجوه. فعلى شاشة حاسوب، عرض «بولاك» على أطفال تتراوح أعمارهم ما بين الثامنة والعاشرة، وكان منهم من أسيئت معاملته وآخرون لم تُسَأْ معاملتهم، صورا لوجوه سعيدة وأخرى خائفة أو حزينة أو غاضبة، متنقلا على التدريج من انفعال إلى آخر. أما الأطفال الذين أسيئت معاملتهم فإنهم على الأغلب وجدوا أكثر من غيرهم أن وجها ما يعبر عن الغضب، حتى عندما لا يكون التعبير ظاهرا. من جهة أخرى، قام «بولاك»، مستخدما **الأقطاب الكهربائية** électrodes، بقياس النشاط المخي عند الأطفال فيما كانوا يحددون هوية الانفعالات، فظهر أن نشاط الأطفال الذين أسيئت معاملتهم كان، أثناء مشاهدتهم وجها يعبر عن الغضب، أعلى من نشاط الآخرين. هذه الدراسة تظهر أن الخبرات المعيشة يمكن أن تؤثر في تعرف تعبيرات الوجوه (*انظر الشكل 4*).

والجانب الثاني للذكاء الوجداني، جانب استخدام الانفعالات، يمثل المقدرة على الانتفاع بالمعلومات الانفعالية من أجل تسهيل القيام بأنشطة معرفية أخرى. وهناك **أمزجة** humeurs معينة يمكن لها أن تساعد شكلا أو آخر من أشكال المهام السلوكية. وفي هذا الإطار، فإن «A. أيْزن» [من جامعة كورنل] قد أظهرت أن كون الفرد ذا مزاج مبتهج يجعله أكثر قدرة على الإبداع. فقد استثارت، عند مجموعة من الطلبة، مزاجا إيجابيا حينا، وذلك بأن

(*) Questions du test MCEIST



الشكل 3: الذكاء الوجداني مجموعة من المقدرات التي تتوزع على أربعة جوانب: الاستعداد لإدراك الانفعالات، مثلا حزن الآخر (a)، المقدرة على استخدام انفعالات المرء من أجل القيام بعمليات التفكير (مثلا، كون المرء مرحا يُسهِّل حل المشكلات) (b)، الاستعداد لفهم وتحليل انفعالات المرء نفسه وانفعالات الآخرين (c)، وأخيرا المقدرة على إدارة الانفعالات (مثلا الأ يهتاج المرء قُبالة ما يضايقه) (d). إن للاختلافات في هذه المقدرات نتائج على جميع مظاهر الحياة الشخصية والمهنية والاجتماعية.

كانت تعرض عليهم أفلاما كوميدية، ومزاجا محايدا حينا بعرض فيلم عن علم الرياضيات. وبعد أن يشاهد كل طالب أحد هذه الأفلام، فإنه كان يجلس أمام لوحة من الفلين، ويُعطى علبة من الكبريت وعلبة من الدبابيس وشمعة، ويطلب إليه أن يتوصل، خلال عشر دقائق، إلى طريقة لتثبيت الشمعة على اللوحة، بحيث تحترق الشمعة من دون أن يسيل شمعها على الطاولة. أما الطلبة الذين كانوا قد شاهدوا الأفلام الكوميدية، فإن عدد الذين توصلوا منهم إلى الحل كان أكبر من عدد الآخرين، وكان يكفي إفراغ علبة الكبريت من أعوادها، وتثبيتها على اللوحة بوساطة الدبابيس واستعمالها على هذا النحو كدعامة للشمعة. وهكذا، فإن الذكاء الوجداني يسهِّل القيام ببعض المهام.

فهم المرء لانفعالاته وإدارته لها(*)

أما الجانبان الثالث والرابع من الذكاء الوجداني فلهما طابع استراتيجي أكبر من السابقين. فالجانب الثالث، فَهْم الانفعالات - هو المقدرة على كيفية استخلاص معلومات من العلاقات فيما بين الانفعالات ومن التحولات من انفعال إلى آخر، وأيضا القدرة على الوصف الدقيق لانفعالات المرء نفسه. إن الشخص الذي يجيد فهم الانفعالات يستطيع أن يميز ما بين انفعالات مترابطة، مثل الفرح والافتخار، أو يدرك أن المرء إن لم يكن منتبها لأحواله فسيتولد عنده امتعاض يسير يمكن أن يتحول إلى غضب كئيب.

لقد بينت الباحثة في علم النفس «ل. بارِته» [من بوسطن] أن مقدرة المرء على إدراك حالاته الوجدانية الخاصة تؤثر في الشعور بالهناء. فقد طلبت، مع زملائها، إلى مجموعة من 53 طالبا أن يسجلوا يوميات حالاتهم الوجدانية خلال أسبوعين. وكان على هؤلاء الطلبة أن يقدروا بوجه خاص خبرتهم الوجدانية اليومية الأشد قوة، وذلك بأن يضعوا درجات بحسب القوة لتسع من الحالات الوجدانية على مقياس يتدرج من صفر إلى 4. وكانت أربع منها من الحالات الوجدانية الإيجابية (السعادة، الفرح، التحمس، الاستمتاع)، وخمس تعود إلى حالات وجدانية سلبية (العصبية، الغضب، الحزن، الشعور بالخزي، الشعور بالذنب).

وفي نهاية الدراسة، سُئل الطلبة المشاركون في التجربة عن الطريقة التي تعاملوا بها مع حالاتهم الوجدانية خلال الأسبوعين السابقين، وإن كانوا، مثلا، قد تحدثوا عنها مع أشخاص آخرين. وقد ظهر أن الإدراك الجيد للحالات الوجدانية الإيجابية لم يكن ذا تأثير في استراتيجيات تنظيم الحالات الوجدانية، وفي المقابل فإن أفراد المجموعة القادرين على التحديد الدقيق لحالاتهم الوجدانية السلبية قاموا بتجربة استراتيجيات متنوعة من أجل إدارة هذه الحالات الوجدانية. وهكذا، فإن معرفة كيف يميز المرء بين حالاته الوجدانية وكيف يحدد هوية كل منها هو مما يساعد على إدارتها بفعالية أعظم.

والجانب الرابع للذكاء الوجداني هو المقدرة على إدارة انفعالات المرء نفسه وانفعالات الآخرين أيضا. وربما كان هذا الجانب هو الجانب الأسهل تحديدا من جوانب الذكاء الوجداني، ولكنه يتعدى بكثير مجرد المقدرة على السيطرة على المزاج السيئ؛ ذلك أنه يظهر من الضروري أحيانا أن يستثمر المرء انفعالات سلبية: فالمحامي، مثلا، الذي يحاول إقناع من يتوجه إليهم بالكلام بوقوع ظلم من نوع ما، يستطيع أن يتظاهر بشعوره شخصيا بالإهانة والنقمة بهدف إقناع هيئة المحلفين.

إن الطريقة التي ندير بها انفعالاتنا يمكن أن تكون لها نتائج مهمة، وهو ما دلت عليه أبحاث «ل. كروس» [من جامعة ستانفورد] في التسعينات. فقد قام «كروس» بعرض أفلام ڤيديو حول عمليات جراحية يصعب تحمل مشاهدتها، كعمليات بتر عضو ما، على ثلاث مجموعات من الطلبة. وكان على أفراد المجموعة الأولى أن يكتموا انفعالاتهم بقدر المستطاع، وذلك

(*) Comprendre et gérer ses émotions

بالحد من تعبيراتهم الوجهية. أما طلبة المجموعة الثانية فقد طلب إليهم أن يشاهدوا الفيلم بعيون حيادية وألا يندمجوا مع ما يشاهدونه. أما طلبة المجموعة الأخيرة فلم يطلب إليهم شيء (وهذه كانت المجموعة الضابطة). وقد تم تصوير الطلبة، كما سجلت ردود أفعالهم الفزيولوجية، من مثل درجة نبض القلب والمواصلة conductance الجلدية (ترتفع درجة المواصلة مع الانفعالات، حيث إن الجلد يفرز عند ذلك عرقا أكثر). وفي الوقت نفسه كان على المشاركين في التجربة أن يضعوا تقديرات لعواطفهم الخاصة، وذلك قبل رؤية الفيلم وأثناءها وبعدها.

لقد كان للفيلم آثار عظيمة الاختلاف في طلبة المجموعتين الأولى والثانية (*انظر الشكل 5*). فقد نجح طلبة المجموعة الأولى في الحد من المظاهر الخارجية الانفعالية، إلا أن ردود أفعالهم الفزيولوجية كانت أكثر قوة بكثير من ردود أفعال أفراد المجموعة الضابطة، وقد أعربوا عن شعورهم بالاشمئزاز العميق، شأنهم شأن أفراد المجموعة الضابطة. أما أعضاء المجموعة الثانية، الذين طلب إليهم أن يبقوا حياديين، فإنهم أعربوا عن اشمئزاز أقل وكانت ردود أفعالهم الفزيولوجية مطابقة لتلك التي عند أفراد المجموعة الضابطة. إن هذه التجربة تظهر أنه يمكن أن تكون هناك كُلفة فزيولوجية كبيرة، حتى عندما لا يلاحظها أحد، لكتم الانفعالات السلبية. ومع ذلك، فإنه من المفيد أن يراقب المرء انفعالاته وأن يقيّمها.

هل خصائص الذكاء الوجداني هي خصائص كيفية وحسب؟ وهل تقف اختبارات الذكاء الوجداني عند حد الكشف عن سمات الشخصية؟ إن الإجابة هي لا، والمناهج المقترحة تتوزع على ثلاث مجموعات: التقدير الذاتي، والتقدير الذي يقوم به طرف محايد، واختبارات الاستعدادات.

أما التقدير الذاتي فإنه لا يزال واسع الاستخدام كثيرا، حيث إنه يسهل القيام به. وهنا يقوم الأفراد المختبرون بالتعبير عن اتفاقهم أو اختلافهم مع تقديرات تصور جوانب منوعة من الذكاء الانفعالي. وعلى سبيل المثال، فإن اختبار التقدير الذاتي للذكاء الوجداني (أو SREIT) يعرض تقديرات من هذا النوع: «إني أتحكم في انفعالاتي» أو «هناك أشخاص يجدون أنه من السهل عليهم أن يفضوا إليّ بمكنوناتهم.»

مفهوم يصعب قياسه(*)

من أجل التقدير عن طريق شخص محايد، فإنه يطلب إلى أشخاص يتعاملون غالبا بعضهم مع بعض (أصدقاء، أو زملاء في العمل) أن يضع بعضهم لبعض تقديرات لدرجة ذكائهم الوجداني، وذلك بحسب موضوعات مشابهة لموضوعات تقارير التقدير الذاتي. ولسوء الحظ، فإن هذه الاختبارات غالبا ما تتناول صفات تتعدى الإطار الدقيق للذكاء الوجداني، والتي عادةً ما يتم تقديرها بوساطة اختبارات الشخصية.

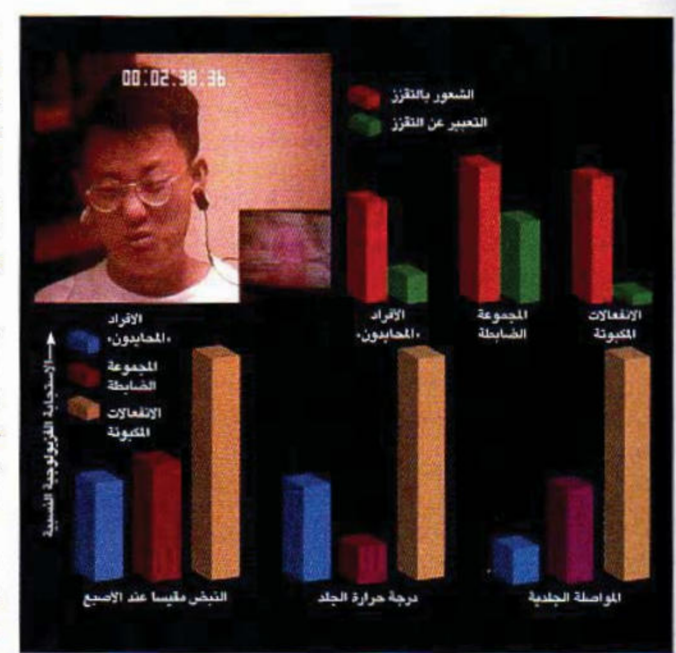
من جهة أخرى، فإن التقدير الذاتي قد تأتي عليه بعض الانحرافات. فعلى سؤال: «هل تعتبرون أنكم أذكياء وجدانيا؟»، يريد معظم الناس أن يجيبوا بالطبع بالإيجاب. وإضافة إلى ذلك، فإن الأفراد لا تكون عندهم بالضرورة فكرة واضحة عن ميزاتهم وعن جوانب ضعفهم. أما بخصوص التقديرات عن طريق طرف محايد، فإنها هي الأخرى تخضع لتأثير الأحكام المعوجة وللتفسيرات الذاتية. ومن أجل معالجة هذه الصعوبات جزئيا، فإن الباحثين يقومون بتقدير الذكاء الوجداني بوساطة سلم متعدد العوامل للذكاء الوجداني، وقد قُدمت صياغة محسنة لهذا الاختبار عام 2002، وهي اختبار

(*) Un concept difficile à mesurer



الشكل 4: إدراك الانفعالات هو مقدرة أساسية تشترك فيها جميع المجموعات البشرية. ولكن هذه المقدرة تتفاوت بين شخص وآخر. فالأطفال الذين لقوا سوء المعاملة، والذين تُعرض عليهم وجوه مشكّلة حاسوبيا [*في الأسفل*]، يظهرون أكثر من غيرهم من الأطفال ميلا إلى قراءة الغضب على هذه الوجوه، حتى حينما لا يكون التعبير ظاهرا. وقد سجلت الأقطاب الكهربائية التي وضعت على فروة الرأس [*في اليسار*] نشاطا مخيًا أكثر قوة حينما كان هؤلاء الأطفال يرون وجها يعبر عن الغضب.





الشكل 5: من أجل تقدير كيف يقوم الأشخاص بإدارة انفعالاتهم عُرض على عدد من الطلبة فيلم عن عملية جراحية تبعث على التقزز. وكان على أفراد مجموعة أولى منهم أن يبقوا حياديين [الأزرق]، وعلى أفراد مجموعة أخرى أن يخفوا انفعالاتهم [البيج]، وأما أفراد المجموعة الضابطة فإنهم لم يتلقوا أي تعليمات معينة [البنفسجي]. أفراد المجموعة الضابطة أظهروا التقزز [*فوق إلى اليسار*]، وكانت لهم ردود أفعال فزيولوجية ملحوظة [النبض المقيس عند الإصبع، درجة حرارة الجلد، والمواصلة الجلدية المرتبطة بالعرق، والتي تزيد مع الانفعالات]. أما الأفراد «الحياديون» فإنهم أظهروا تقززا أقل، وكانت ردود أفعالهم الفزيولوجية مشابهة لتلك التي عند أفراد المجموعة الضابطة. أخيرا، فإن الطلبة الذين أخفوا انفعالاتهم لم يظهروا إلا قليلا من التقزز، ولكن ردود أفعالهم الفزيولوجية كانت شديدة القوة، وهو ما يعني أن إخفاء المرء لانفعالاته تكون له كُلفة فزيولوجية.

ماير-سالوفي-كاروزو للذكاء الوجداني Mayer-Salovey-Caruso emotional intelligence test **(واختصاره MSCEIT)**.

يتضمن الاختبار MSCEIT ثماني مهام: مهمتين لكل جانب من جوانب الذكاء الوجداني. وعلى سبيل المثال، فإنه يتم اختبار إدراك الحالات الوجدانية بأن تُقَدَّم إلى الأفراد المشتركين صورة فوتوغرافية لشخص ما، ويطلب إليهم أن يقدروا درجة الحزن أو السعادة أو الخوف التي يكتشفون وجودها على وجه الشخص. ويتم تقدير مدى التحكّم في إدراك الحالات الوجدانية بأن يطلب إلى الأفراد المشتركين إلى أي حد تسهّل بعض الحالات النفسية (الملل مثلا أو السعادة) القيام ببعض الأعمال المعينة أو أنها تدخل اضطرابا على ذلك. وتقوم الاختبارات أيضا بتقدير معرفة المصطلح المتصل بالحالات الوجدانية. وأخيرا، فإن الجزء المخصص لإدارة الانفعالات يقوم بتقديم مشاهد من الحياة العادية إلى الأفراد المشتركين، ويطلب إليهم اختيار أفضل الطرق والوسائل من أجل إدارة الانفعالات التي تثيرها هذه المشاهد (*انظر الإطار في الصفحة 46*). وتظهر النتيجة على هيئة درجة كلية.

والآن، هل لاختبار ماير-سالوفي-كاروزو **أداء عالٍ** performant؟ لمعرفة ذلك، قام «M. براكت» [من جامعة ييل] و«ماير» بمقارنته أولا باختبارات أخرى. وقد أثبتا أن نتائج اختبارات التقدير الذاتي للذكاء الوجداني، من قبيل الاختبار SREIT، تقدّم نتائج متشابهة مع اختبارات الشخصية التقليدية، وهو ما يشير إلى أن اختبارات التقدير الذاتي للذكاء الوجداني تضيف عددا ضئيلا من المعلومات مقارنة باستبيانات الشخصية النموذجية. وفي المقابل فإن الاختبار MSCEIT لا يقدم المعلومات نفسها التي تقدمها اختبارات الشخصية.

وإحدى صعوبات اختبار ماير-سالوفي-كاروزو هي مسألة تعريف الإجابة الصحيحة. فعلى خلاف اختبارات الذكاء التقليدية، فإن أسئلة اختبارات الذكاء الوجداني ليس لها بوضوح إجابة ما سليمة أو خاطئة. وعلى سبيل المثال، هناك استجابات متعددة يمكن أن تكون ذات فاعلية في إدارة المواقف الانفعالية، فكيف نقرر أيها هو «الأكثر ذكاءً»؟

وفي إطار نموذج الذكاء الوجداني فإن الكفاءات الوجدانية لا يمكن عزلها عن السياق الاجتماعي. فلكي يستخدم المرء انفعالاته استخداما نافعا، فإن عليه أن يكون متوافقا مع المعايير الاجتماعية والثقافية التي لبيئته. ومن ثم، وفي داخل مجموعة اجتماعية معينة، فإن الإجابات الصحيحة لشخص ما إنما تتوقف على إجابات الآخرين. ويضاف إلى هذا أن الإجابات المناسبة يمكن أن تُستخرج جزئيا من الخبرات المتنوعة التي تستدعي الانفعالات. وهكذا، فإن جرد الإجابات في اختبار ماير-سالوفي-كاروزو يتم باستخدام منهجين: التوافق الجماعي وتقدير الخبراء. وفي الحالة الأولى، يتم مقارنة إجابات الفرد المعين بإجابات عينة مرجعية مكونة من خمسة آلاف شخص. وهذه العينة، التي تجمع أفرادا من سبعة بلدان مختلفة، تكون متنافرة العناصر من حيث مستوى التعليم أو مستوى الانتماء العرقي. وبحسب هذا المدخل، يعكس تطابقٌ قويٌ بإجابات العينة المرجعية ذكاء وجدانيا عاليا. أما في حالة الاعتماد على تقديرات الخبراء، فإن إجابات فرد ما تقارن مع إجابات مجموعة من واحد وعشرين مختصا من أعضاء **الجمعية الدولية للأبحاث حول الحالات الوجدانية** Société internationale pour la recherche sur les émotions.

ولكن هل تتسق هاتان الملاحظتان إحداهما مع الأخرى؟ إن التلازم المتبادل بين مجموع الدرجات التي يُحصل عليها باستخدام منهج التوافق الجماعي وتلك التي يحصل عليها باستخدام منهج تقدير المختصين هو تلازم ممتاز، وهو ما يُظهر أن المختصين وغير المختصين يحكمون بالطريقة نفسها على الإجابات الأكثر ذكاءً من الناحية الوجدانية. واختصارا، ونظرا للتداخل المحدود بين الاختبار MSCEIT من جهة وبين اختبارات الشخصية واختبارات الذكاء التحليلي من جهة أخرى، فإنه يبدو أن هذا الاختبار يقيّم على نحو يعوَّل عليه ما ليس هو الشخصية ولا هو نسبة الذكاء (QI): إنه الذكاء الوجداني.

وما أسرع أن وجدت أداة قياس الذكاء الوجداني هذه تطبيقات

لها. ففي ميدان العمل، يمكن أن يساعد الذكاء الوجداني على حسن تفاهم المرء مع زملائه. وقد أشرف <P. لوبيز> [من جامعة سَرّي في المملكة المتحدة] على دراسة حول موظفي إحدى شركات التأمين، الذين كانوا يعملون في فرق. وكان يطلب إلى كل موظف أن يعطي درجات للموظفين الآخرين في فريقه من خلال توصيفات مرتبطة بالحالات الوجدانية، من قبيل: «هذا الشخص يتحمل الضغوط من دون أن تثور أعصابه.» ثم قام المديرون في الشركة بإعطاء تقديرات لمرؤوسيهم بحسب مفردات مشابهة لتلك. وجميع الأشخاص الذين شاركوا في الدراسة خضعوا أيضا لاختبار ماير-سالوفي-كاروزو. وقد كان الموظفون الذين سجلوا أعلى الدرجات في الاختبار MSCEIT هم أولئك الذين نالوا أعلى التقديرات الإيجابية من جانب زملائهم ورؤسائهم. وقد قرر زملاؤهم أنه كانت لهم معهم أقل الصراعات، ونظروا إليهم باعتبارهم خالقين لأجواء إيجابية في العمل. أما الرؤساء فقد ارتؤوا أنهم أكثر من غيرهم من حيث الحساسية على المستوى الشخصي، وأنهم اجتماعيون، ومقاومون لضغوط العمل، وأكثر استعدادا لقيادة الآخرين. كذلك، فإن الدرجات كانت مترابطة مع الوضع التراتبي[1] ومع الراتب.

منافع الذكاء الوجداني(*)

يسهم الذكاء الوجداني كذلك في إقامة علاقات حسنة مع أقران المرء، وفي الحفاظ عليها. ففي دراسة أخرى طُلب إلى طلبة ألمان أن يسجلوا يوميات تصف تفاعلاتهم مع الآخرين مدة خمسة عشر يوما. وكان على الطلبة عند حديثهم عن كل تفاعل أن يحددوا جنس الشخص، وكيف عاشوا التفاعل، وما إذا كانوا يرغبون أثناءه في إحداث انطباع معين عند الطرف الآخر، وما إذا كانوا يعتقدون أنهم قد نجحوا في ذلك.

ولقد كشفت النتائج عن وجود ارتباط بين درجات إدارة الانفعالات في الاختبار MSCEIT ومستوى المتعة والاهتمام اللذين أنتجتهما التفاعلات عند الطلبة، وبخاصة التفاعلات مع الجنس المقابل، وكذلك الثقة التي شعروا بها والأهمية التي أولوها لتلك التفاعلات. وقد قرر الطلبة الذين حصلوا على درجات عالية حول إدارة الانفعالات في الاختبار MSCEIT أنهم شعروا بقدر أعلى من المتعة ومن الحميمية ومن الاهتمام ومن الاحترام للشخص الآخر. كذلك ظهر أن إدارة الانفعالات كانت متلازمة مع الإحساس بإحداث الانطباع المرغوب فيه على الشركاء من الجنس المقابل.

إلى أي حد تعكس درجات اختبار ماير-سالوفي-كاروزو نوعية العلاقات الاجتماعية؟ لقد قام بعض الطلبة بالإجابة عن الاختبار وكذلك بالإجابة عن استبيانات تقدر نوعية صداقاتهم وعلاقاتهم الاجتماعية، وطلب إلى هؤلاء الطلبة أن يأتوا باثنين من أصدقائهم من أجل تقدير نوعية صداقتهم. وكانت النتيجة أن أصدقاء الأفراد الذين حصلوا على درجات عالية حول إدارة الانفعالات قد وصفوهم بأنهم يجيدون الاستماع للغير وبأنهم يقدمون لهم دعما وجدانيا قيّما.

ومن جهة أخرى، فإن الذكاء الوجداني يمكن أن يساعد الأشخاص على إدارة علاقاتهم الغرامية، بحسب ما أظهرته دراسة على مئة وثمانين زوجا من الأشخاص، من منطقة لندن، متوسط أعمارهم خمسة وعشرون عاما. وكان عضوا كل زوج يقومان بأداء اختبار ماير-سالوفي-كاروزو، ثم يجيبان بعد ذلك عن استبيانات حول جوانب متنوعة من علاقتهما، من قبيل نوعية ما يتلقاه كل منهما من الآخر، والسعادة التي يجدانها في علاقتهما. وقد أظهرت النتائج تلازما بين السعادة والحصول على درجات مرتفعة في الاختبار عند كل من الشريكين. وفي المقابل، عندما كان أحد الشريكين يحصل على درجة مرتفعة والآخر على درجة منخفضة، فإن درجة الرضا تكون ضعيفة.

وهكذا سمحت الأبحاث الحديثة باستخلاص **تصور** concept الذكاء الوجداني باعتباره مجموعة من المقدرات التي تتعامل مع تعرّف الانفعالات وإدارتها. ولا يكون الذكاء الوجداني إيجابيا دائما بالضرورة، فالمقدرة على إدراك ما يشعر به الآخرون يمكن أن يستغلها المحتالون في التلاعب بضحاياهم. إن الأقوال الشعبية حول الذكاء الوجداني لهي متقدمة على ما قررته بشكل قاطع الأبحاث العلمية، ومع ذلك فإن أصحاب الأعمال والمربين يهتمون بموضوع الأحوال الوجدانية، والأبحاث حول إدراك الأحوال الوجدانية تتكاثر.

ولاتزال ميادين عديدة للبحث تنتظر الاستكشاف. فلماذا يميل أفراد معينون إلى الانتفاع بذكائهم الوجداني في مواقف معينة؟ وهناك، مثلا، في السياسة، بعض الأشخاص الذين يتمتعون بموهبة استثنائية في استخدام انفعالاتهم في حياتهم العامة، بينما تبدو حياتهم الخاصة بائسة. ومن جهة أخرى، كيف تَظْهر الاختلافات الفردية خلال العمليات الوجدانية؟ لقد أبرز الباحثون العلميون حتى اليوم مبادئ تتصف بالعمومية، ومن شأنها أن تضيف إضاءة مهمة إلى طبيعة الخبرة الوجدانية الإنسانية. ومع ذلك، ففي داخل ثقافة معينة، يختلف الأشخاص بعضهم عن بعض، من حيث المقدرة على تفسير الإشارات الوجدانية وعلى استخدامها. وأخيرا، لماذا يكون أشخاص بأعينهم أكثر قدرة من غيرهم على التعامل مع انفعالاتهم؟ ■

(*) Les bienfaits de l'intelligence émotionnelle
(1) hiérarchique

المؤلفان

Daisy Grewal - Peter Salovey

نشكر المجلة American Scientist للسماح لنا بنشر هذه المقالة.

كريوال *باحث في علم النفس لدى جامعة ييل، أما* ***سالوفي*** *فهو أستاذ علم النفس في هذه الجامعة، حيث يدير مختبر الصحة والعواطف والسلوكيات.*

مراجع للاستزادة

A. DAMASIO, *Spinoza avait raison, Joie et tristesse, le cerveau des émotions*, éd. Odile Jacob, 2005.

J. MAYER et al., *Mesuring emotional intelligence with the MSCEIT V2.0, in Emotion*, vol.3, pp. 97-105, 2003.

A. DAMASIO, *Le sentiment même de soi. Corps, émotion, conscience*, éd. Odile Jacob, 2002.

Pour la Science, No. 337

تتمة الصفحة 43 (مسرعات بلازمية)

كاليفورنيا بأنجلوس، وفي جامعة كاليفورنيا الجنوبية، وفي مركز مسرِّع ستانفورد الخطي Stanford Linear Accelerator Center (SLAC)، مستخدمين حزما من مصادم ستانفورد الخطي.

أولا، وفي المقـــام الأهم، تخطى هؤلاء الباحثون مشكلة كون طول المسرِّعات البلازمية العاملة بالليزر مساويا عدة مليمترات فقط، فصنعوا مسرِّعا بلازميا لكلٍّ من الإلكترونات والبوزترونات طوله متر واحد. وقد تطلب إبقاء الحزم الجارَّة مستقرة على طول تلك المسافة مهارة كبيرة. ثانيا، تمكنوا من تحقيق ربح في طاقة الإلكترونات يفوق 4 جيگاإلكترون فلط على مسافة 10 سنتيمترات فقط. ولم يَحدَّ ربح الطاقة هذا سوى اعتبارات عملية فقط، وليس أي قضية علمية، وهذا يعني أنه يمكن زيادته بمجرد زيادة طول البلازما.

وأخيـرا بيَّنوا أن البـلازمـا يمكن أن تضاعف تبئير حزمة الإلكترونات أو البوزترونات، المبأرة أصلا، مرتين على الأقل. وهذا تحسين مهم لمصادم يجب أن تُبأر فيه الجسيمات المسرَّعة في بقعة صغيرة جدا. فكلما كانت الحزم مبأرة بدقة أعلى، أنتج المصادم عددا أكبر من التصادمات. وفي المصادم، تكافئ أهمية معدل التصادمات، بوصفه بارامترا، أهميةَ الطاقة الكلية ذاتها.

لقد أذكت هذه الفتوح التقانية التخمينات حول إمكان الوصول بالطريقة البلازمية إلى حدود الطاقة العليا، لكن يجب أولا اختبار هذه التقنية باستخدام مسرِّع موجود حاليا ممثلا المرحلة الأولى. فمثلا، يمكن تركيب جهازَيْ حقل مَخْر بلازمي عند أيٍّ من طرفي نقطة التصادم في مسارع ستانفورد الخطي. وهذا يمكن أن يضاعف طاقات الحزم الحالية جاعلا إياها 100 جيگاإلكترون فلط، بدلا من 50 جيگاإلكترون فلط. وحينئذ سيكون طول كلٍّ من الحرّاقَيْن البلازميين اللاحقَيْن نحو 10 أمتار. ومع أن هذا المشروع لم يموَّل حتى الآن، فقد اقترح مركز مسرِّع ستانفورد الخطي على وزارة الطاقة الأمريكية بناء خطِّ حزمة عالية الطاقة يدعى SABER لمتابعة هذا البحث.

لقد وصفتُ هذه المسرِّعات على أنها مسرِّعات إلكترونات فقط. أما لتسريع جسيمات شحنتها موجبة، كالبوزترونات، فيجب عكس جهة الحقل الكهربائي. وأسهل طريقة للقيام بهذا هي استخدام حزمة جارَّة من البوزترونات. فالشحنة الموجبة لهذه الحزمة تجذب إلكترونات البلازما إلى الداخل. وكما في السابق، تتجاوز الإلكترونات المحور المركزي وتشكل فقاعة. ويكون اتجاه الحقل الكهربائي معكوسا مقارنة بحالة حزمة الإلكترونات التي وصفتها سابقا، وهذا هو المطلوب لتسريع حزمة البوزترونات المجرورة.

يُضاف إلى ما سبق أنه يمكن لهذه الآلات المعتمدة على البلازما أن تسرِّع جسيمات أثقل من قبيل البروتونات. والشرط الوحيد لذلك هو أن تكون الجسيمات المحقونة قد سُرِّعت سلفًا حتى سرعة الضوء تقريبا، كي لا تتخلف عن موجة البلازما. هذا يعني، بالنسبة إلى البروتونات، أن طاقة الحقن يجب أن تكون عدة جيگاإلكترون فلط.

يحرز الفيزيائيون تقدما سريعا في سعيهم نحو المسرِّع البلازمي. ومع أن العديد من القضايا الفيزيائية الأساسية قد حُلَّ، إلا أن صنع جهاز عملي لا يزال يواجه تحديات قاهرة. فعلى وجه الخصوص، يجب على مهندسي الحُزَم تحقيق حزم ذات مواصفات كافية من حيث الجودة، والكفاءة (أي مقدار طاقة الحزمة الجارَّة الذي يصل إلى الجسيمات المسرَّعة)، وتفاوتات التحاذي المسموح بها (يجب أن تكون الحزم متحاذية بدقة لا تتجاوز بضعة نانومترات عند نقطة التصادم). وأخيرا فإن معدل التكرار في الجهاز (أي عدد النبضات التي يمكن تسريعها في كل ثانية) ذو أهمية أيضا.

بيَّن المسرِّع أن الإلكترونات اكتسبت طاقة تفوق 4 جيگاإلكترون فلط في 10 سنتيمترات فقط.

لقد أمضى بناةُ المسرعات العادية 75 عاما حتى وصلوا إلى طاقات تصادم للإلكترونات والبوزترونات في مجال الـ200 جيگاإلكترون فلط. أما المسرِّعات البلازمية، فتتقدم بسرعة أكبر، ويأمل الباحثون أن ينجزوا التقانة الجديدة، التي تتجاوز المنظومات القائمة على الموجات الميكروية في فيزياء الطاقة العالية، خلال عقد أو اثنين فقط. وقبل ذلك بكثير، سوف تُنتج تقانة حقل المَخْر الليزري مسرِّعات توضع على الطاولة، استطاعتها في مجال الجيگاإلكترون فلط، لتحقيق تطبيقات غنية التنوع. ويمضي ركوب الموجة قُدما. ■

المؤلف

Chandrashekhar Joshi

أستاذ الهندسة الكهربائية في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس ومدير مركز إلكترونيات الترددات العالية، والمنشأة Neptune للأبحاث المسرِّعات المتقدمة في الجامعة نفسها. وبصفته رائدا في تقنيات التسريع المتقدمة، فقد اكتسب شهرة واسعة بسبب إسهامه في مجالات بصريات البلازما اللاخطية، والتآثرات بين المادة والليزرات الشديدة، وتطبيقات علم البلازما في الاندماج، والمسرِّعات والمنابع الضوئية.

مراجع للاستزادة

Plasma Particle Accelerators. John M. Dawson in *Scientific American*, Vol. 260, No. 3, pages 54–61; March 1989.

Plasma Accelerators at the Energy Frontier and on Tabletops. Chandrashekhar Joshi and Thomas Katsouleas in *Physics Today*, Vol. 56, No. 6; pages 47–53; June 2003.

Accelerator Physics: Electrons Hang Ten on Laser Wake. Thomas Katsouleas in *Nature*, Vol. 431, pages 515–516; September 30, 2004. Also three research reports in the same issue.

The Lasers, Optical Accelerator Systems Integrated Studies (L'OASIS) Group at the University of California, Berkeley: http://loasis.lbl.gov/

Stanford's Plasma Wakefield Accelerator Experiment: www.slac.stanford.edu/grp/arb/e164/index.html

Scientific American, February 2005

المكنيتارات: نجوم فائقة المغنطيسية(*)

بعض النجوم فائقة المغنطيسية لدرجة أنها تُصدر دفقات هائلة من الطاقة المغنطيسية، وتغير الطبيعة الكمومية للخلاء.

<Ch. كوڤليوتو> ـ <R. C. دانكن> ـ <Ch. طومسن>

في 1979/3/5، وبعد عدة أشهر من إسقاط مسابير استكشاف كوكب الزهرة ذي الغلاف الجوي السام، كانت سفينتا الفضاء السوڤييتيتان Venera 11 و Venera 12 تندفعان عبر المنظومة الشمسية الداخلية في مدار إهليلجي. لقد كانت رحلة غير زاخرة بالأحداث. فقراءات مقاييس الإشعاع على متن كل منهما كانت تتأرجح حول مئة عَدَّةٍ في الثانية. لكن في الدقيقة الواحدة والخمسين بعد العاشرة صباحا بتوقيت شرق الولايات المتحدة الأمريكية، داهمتهما نبضة من أشعة كاما. وخلال جزء من الملي ثانية، قفز مستوى الإشعاع إلى أعلى من 200 000 عَدَّةٍ في الثانية، ثم تجاوز الحد الأقصى للمقياس.

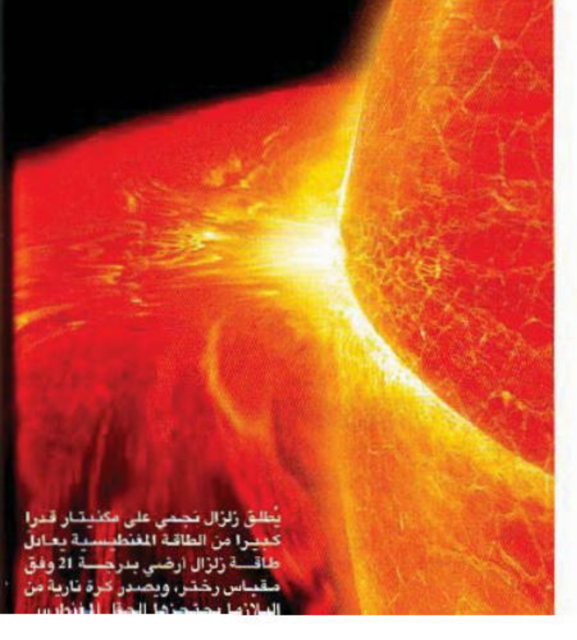
وبعد 11 ثانية غمرت أشعة كاما مسبار الفضاء Helios 2، التابع للوكالة ناسا، والذي كان يدور أيضا حول الشمس. كان من الواضح أن ثمة جبهة موجية مستوية من الأشعة ذات الطاقة العالية تجتاح المجموعة الشمسية، سرعان ما وصلت إلى كوكب الزهرة وتجاوزت طاقة قياس كاشف الإشعاع على متن مركبة الفضاء Pioneer Venus Orbiter. وخلال ثوان وصلت أشعة كاما إلى الأرض، وغمرت كواشف الإشعاع المحمولة على متون ثلاثة من سواتل Vela التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية، وعلى الساتل السوڤييتي Prognoz 7، ومرصد Einstein. وأخيرا، عندما كانت الموجة في طريقها للخروج من المنظومة الشمسية، داهمت مركبة الفضاء International Sun Earth Explorer.

كانت هذه النبضة من أشعة كاما ذات الطاقة العالية القاسية hard أقوى مئة مرة من أي انبثاق سابق لأشعة كاما من خارج المنظومة الشمسية، على الرغم من استمرارها عُشْري ثانية فقط. في تلك الأثناء، لم يلحظ أحد شيئا، واستمرت الحياة بوجه هادئ وطبيعي تحت الغلاف الجوي الواقي لكوكبنا. ولحسن الحظ، فقد نجت السفن الفضائية العشر من دون أن تحل بها أضرار دائمة. تبع هذه النبضة الشديدة وهج أقل سطوعا لأشعة كاما الأقل طاقة وللأشعة السينية، التي خفتت تدريجيا خلال الدقائق الثلاث التالية. وخلال ذلك، صارت الأشعة تتذبذب برفق بدور قدره ثماني ثوان. وبعد 14 ساعة ونصف، أي في الساعة الواحدة وسبع عشرة دقيقة من يوم 1979/3/6 أتت بُثْقة أخرى من البقعة نفسها في السماء، لكنها كانت أقل سطوعا. وعلى مدار السنوات الأربع التالية تمكن

(*) العنوان الأصلي: MAGNETARS

(**) Overview / Ultramagnetic Stars

(1) الكلمة magnetar منحوتة من الكلمتين الإنكليزيتين magnolic star (النجوم المغنطيسية) وعربت منحوتة: مكنيتار. (التحرير)

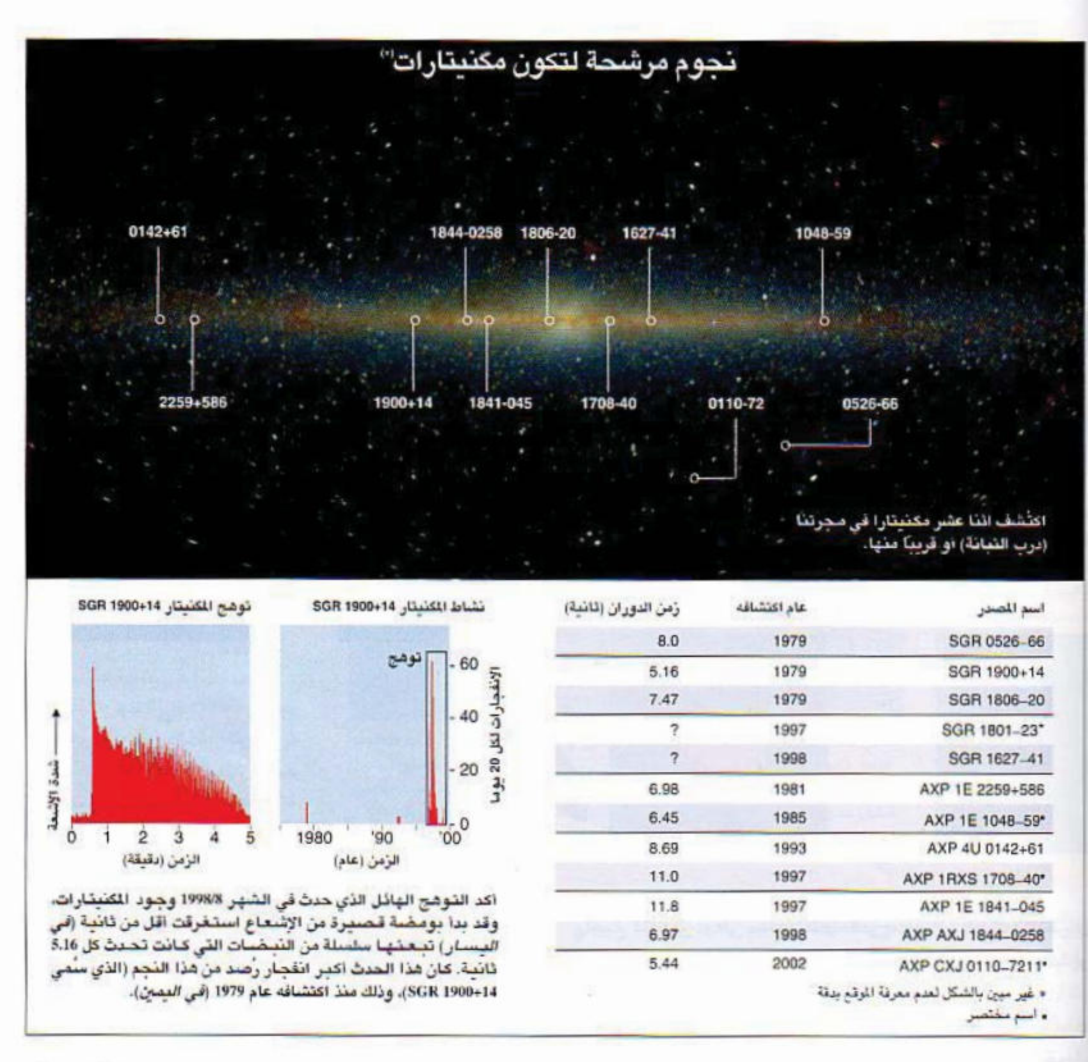


يُطلق زلزال نجمي على مكنيتار قدرا كبيرا من الطاقة المغنطيسية يعادل طاقة زلزال أرضي بدرجة 21 وفق مقياس رختر، ويصدر كرة نارية من

نظرة إجمالية/ نجوم فائقة المغنطيسية(**)

- وجد الفلكيون بضعة نجوم تُطلق ومضات متوهجة من أشعة كاما والأشعة السينية يفوق سطوعها ملايين المرات سطوع أي مصدر مُكرر آخر لهذه الأشعة. تشير الطاقات الهائلة والإشارات النابضة المصاحبة لهذه الأشعة إلى أن مصدرها هو ثاني أكثر الأجرام الكونية غرابة (بعد الثقب الأسود)، ألا وهو النجم النتروني.
- يملك هذا النوع من النجوم النترونية أقوى حقل مغنطيسي جرى قياسه على الإطلاق. ولذلك سميت مكنيتارات(1)، أي النجوم الفائقة المغنطيسية. تثير الطاقة المغنطيسية العالية اضطرابات على سطوح المكنيتار تشبه الزلازل الأرضية، ويمكنها تفسير ومضات (توقدات) الأشعة الساطعة.
- تظل المكنيتارات ناشطة قرابة عشرة آلاف سنة فقط، وهذا يدل على أن الملايين منها تجوب مجرتنا من دون اكتشافنا لها بعد.

نجوم مرشحة لتكون مكنيتارات(*)



اسم المصدر	عام اكتشافه	زمن الدوران (ثانية)
SGR 0526-66	1979	8.0
SGR 1900+14	1979	5.16
SGR 1806-20	1979	7.47
SGR 1801-23*	1997	?
SGR 1627-41	1998	?
AXP 1E 2259+586	1981	6.98
AXP 1E 1048-59•	1985	6.45
AXP 4U 0142+61	1993	8.69
AXP 1RXS 1708-40•	1997	11.0
AXP 1E 1841-045	1997	11.8
AXP AXJ 1844-0258	1998	6.97
AXP CXJ 0110-7211•	2002	5.44

* غير مبين بالشكل لعدم معرفة الموقع بدقة
• اسم مختصر

أكد التوهج الهائل الذي حدث في الشهر 1998/8 وجود المكنيتارات. وقد بدأ بومضة قصيرة من الإشعاع استغرقت أقل من ثانية (في *اليسار*) تبعتها سلسلة من النبضات التي كانت تحدث كل 5.16 ثانية. كان هذا الحدث أكبر انفجار رُصد من هذا النجم (الذي سُمي SGR 1900+14)، وذلك منذ اكتشافه عام 1979 (في *اليمين*).

<P. E. مازيتس> وزملاؤه [من معهد Ioffe في سانت بيترسبيرگ بروسيا] من رصد 16 انبثاقا لأشعة گاما من الاتجاه نفسه. تفاوتت تلك الانبثاقات في درجة سطوعها، لكنها كانت جميعا أقل سطوعا وأقصر زمنا مما حدث في 1979/3/5.

لم ير الفلكيون شيئا كهذا من قبل. وبغية حصولهم على فكرة أفضل، فقد وضعوا مبدئيا هذه الانبثاقات ضمن تصنيفات نوع آخر من **انبثاقات أشعة گاما** gamma-ray bursts (GRBs) التي كانت معروفة على وجه أفضل في ذلك الوقت. على الرغم من اختلافاتها الواضحة في عدة أوجه. وفي منتصف الثمانينات، أدرك <C. K. هارلي> [من جامعة كاليفورنيا ببركلي] أن ثمة انبثاقات مشابهة تأتي من موضعين آخرين في السماء. كان واضحا أن هذه المصادر تطلق تلك الانبثاقات بطريقة متكررة على عكس انبثاقات GRB التي لا تتكرر من الموضع نفسه مرة أخرى [انظر: «*أسطع الانفجارات في الكون*»، **العلوم**، العددان 7/6 (2003)، ص 32]. وفي مؤتمر للفلكيين في تولوز بفرنسا في الشهر 1986/7، جرى الاتفاق بين الفلكيين على المواقع التقريبية لهذه المصادر الثلاثة، وأطلقوا عليها اسم «**مُكررات أشعة گاما اللينة**» soft gamma repeaters (SGRs). وبهذا اكتسبت أبجديات علم الفلك عنصرا جديدا.

مرت سبع سنوات أخرى قبل أن يبتكر اثنان من مؤلفي هذه المقالة (دانكن وطومسن) تفسيرا لهذه المصادر الغريبة. وفي عام 1998 وجدت المؤلفة المشاركة <كوڤليوتو> وفريقها دليلا قويا على هذا التفسير. وتربط المشاهدات الرصدية الحديثة نظريتنا بنوع آخر من الألغاز السماوية المعروفة **بنبّاضات الأشعة السينية الشاذة** anomalous X-ray pulsars (AXPs). وقد أدت هذه التطورات إلى طفرة في فهمنا لواحدٍ من أكثر الأجسام السماوية غرابة ألا وهو النجم النتروني.

النجوم النترونية هي أكثر الأجسام المادية المعروفة كثافة، لأنها

(*) Magnetar Candidates

نوعان من النجوم النترونية(*)

1 يُظن أن معظم النجوم النترونية تبدأ كنجوم ضخمة، لكن عادية، بكتل تقع بين ثماني مرات وعشرين مرة من كتلة الشمس.

2 تنتهي حياة هذه النجوم الضخمة بانفجار مستعر أعظمي من النوع الثاني type II، عندما يتحول قلب النجم إلى كرة كثيفة من الجسيمات الأولية/ دون الذرية.

نجم نتروني حديث الولادة

مكنيتار

نجم نباض عادي

3A إذا كان النجم النتروني المولود حديثا يدوم بسرعة عالية بقدر كاف، فإنه يولد حقلا مغنطيسيا كثيفا، تلتوي خطوطه داخل النجم.

العمر: 0 - 10 ثوان

4A يستقر المكنيتار في ... دقيقة، تلتوي في داخ... خطوط الحقل المغنطيسي وتك... منتظمة في الخارج. وقد يصد... حزمة ضيقة من الموجات الراد...

العمر: 0 - 10 000 سنة

3B إذا كان النجم النتروني المولود حديثا يدوم ببطء، فعلى الرغم من أن حقله المغنطيسي قوي بالمقاييس الاعتيادية، فإنه لا يبلغ مستوى المكنيتار.



4B يكون النجم النباض الناضج أبرد من المكن... الذي له العمر نفسه. يصدر ... النجم حزمة راديوية عريضة ... للمقاريب رصدها بسهولة.

العمر: 0 - 10 ملايين سنة

تحوي مادة كتلتها أكبر من كتلة الشمس بقليل في حيز قطره 20 كيلومترا فقط. وبناء على دراسة المصادر SGRs يبدو أن لبعض النجوم النترونية حقلا مغنطيسيا فائق الشدة لدرجة أنها تغير جذريا طبيعة المادة بداخلها والحالة الكمومية للخلاء المحيط بها، وهذا يؤدي إلى تأثيرات فيزيائية لا يمكن مشاهدتها في أي مكان آخر من الكون.

ليس من المفترض أن تفعل ذلك(**)

لأن انبثاق الشهر 1979/3 كان شديد السطوع، اعتقد الفلكيون النظريون في ذلك الوقت أن مصدره يقع داخل مجرتنا وعلى بعد بضع مئات من السنين الضوئية على الأكثر من الأرض. ولو كان ذلك صحيحا، لكانت شدة الأشعة السينية وأشعة كاما أقل قليلا من الحد الأقصى النظري للسطوع المستقر الذي بإمكان نجم ما أن يصدره. وتحكم هذا الحد الأعلى، الذي استنتجه الفيزيائي الفلكي البريطاني <A. إدنكتون> في عام 1926، قوة تدفق الأشعة خلال الطبقات الخارجية الساخنة للنجم. إذا تجاوز سطوعُ الأشعة هذا الحد، فاقت قوتها قوة ثقالة النجم، وأبعدت المادة المتأينة، وأخلّت بتوازن النجم. وبطبيعة الحال، فإن الإشعاع الأدنى من حد إدنكتون واضح التفسير. وعلى سبيل المثال، اقترح عدد من الفلكيين النظريين أن هذا الانفجار كان نتيجة تصادم كتلة مادية، كأن تكون كويكبا أو مذنبا، بنجم نتروني قريب.

لكن سرعان ما أربكت الأرصاد هذه الفرضية، فقد سجلت السفن الفضائية المختلفة زمن وصول نبضة 1979/3/5 القوية، وأتاحت هذه المعلومات للفلكيين بقيادة <L .T. كلاين> [من مركز كودارد للطيران الفضائي التابع للوكالة ناسا] تحديد مصدر الانبثاق، ووجد الباحثون أن ذلك الموضع يتطابق مع موضع السحابة الماجلانية الكبيرة، وهي مجرة صغيرة تبعد عنا قرابة 170 ألف سنة ضوئية، وبالتحديد فقد وافق الموضع مكان بقايا **مستعر أعظمي فتيّ** young supernova remnant، وهو التوهج المتبقي من آثار نجم انفجر قبل خمسة آلاف سنة. وإذا لم يكن هذا الاقتران محض صدفة، فهو يضع المصدر أبعد ألف مرة عن ذاك الذي ظنه النظريون، الأمر الذي يتطلب أن يكون الانفجار أسطع من حد إدنكتون بمليون مرة. في غضون 0.2 من الثانية، أطلق حدث الشهر 1979/3 طاقة تعادل ما تطلقه الشمس في عشرة آلاف سنة، وركزها في أشعة كاما بدلا من توزيعها عبر نطاق الطيف الكهرمغنطيسي.

ليس هناك نجم عادي يمكنه إصدار هذه الطاقة، ولهذا بات من

Two Types Of Neutron Stars (*)

Not Supposed to Do That (**)



يمكن استنتاج التركيب الداخلي لنجم نتروني من نظريات المادة النووية nuclear matter. تحدث الزلازل النجمية star quakes على القشرة الخارجية للنجم التي تتكون من نسيج شبكي من نوى ذرية وإلكترونات. يتكون لب (قلب) النجم أساسا من النترونات، وربما الكواركات quarks. وقد يتكون حوله غلاف جوي من البلازما الساخنة التي ترتفع فوق سطحه بضعة سنتيمترات.

المؤكد أن المصدر شيء فوق العادة، أي ثقب أسود أو نجم نتروني. وقد استُبعد الاحتمال الأول بسبب نبضان الأشعة بدور قدره 8 ثوان، فالثقب الأسود ليست له سمات مميزة، ويفتقر إلى المواصفات المطلوبة لإصدار نبضات منتظمة. ثم إن ربط مصدر الانفجار ببقايا المستعر الأعظمي أدى إلى تعزيز فكرة النجم النتروني. وثمة اعتقاد واسع بأن النجوم النترونية تتكون عندما يستنفد نجم ضخم الكتلة - لكن عادي - وقوده النووي من قلبه، ومن ثم ينهار بسرعة بسبب وزنه محدثا انفجار مستعر أعظمي.

إن اعتبار المصدر نجما نترونيا لم يحل اللغز، بل على العكس زاده غموضا، فقد عرف الفلكيون عدة أمثلة عن نجوم نترونية تقع داخل بقايا مستعرات أعظمية. هذه النجوم **نباضات راديوية** radio pulsars، وهي أجسام شوهدت تُطلق ومضات راديوية الموجة. لكن دوران مصدر انفجار الشهر 1979/3، الذي يستغرق ثماني ثوان ليدور مرة حول نفسه، أبطأ بكثير من أي نباض راديوي معروف. كذلك ففي الوقت الذي لم يكن فيه مصدر الانبثاق يرسل ومضات كاما، كان هذا المصدر يرسل ومضات من الأشعة السينية على نحو منتظم، وهذا يتطلب طاقة أكبر من تلك التي توفرها الحركة الدورانية لنجم نتروني. ومن المستغرب أن النجم كان مُزاحًا إزاحة شديدة عن مركز بقايا المستعر الأعظمي. فإذا وُلِد النجم في المركز، وهذا شيء محتمل، فلا بد أن يرتد بسرعة تقدر بنحو ألف كيلومتر في الثانية لحظة ولادته، وهذه السرعة العالية كانت تعد غير اعتيادية لنجم نتروني.

وفي نهاية المطاف، فإن الانفجارات نفسها بدت متعذرة التفسير. فقد رُصدت سابقا ومضات أشعة سينية صادرة عن بعض النجوم النترونية، لكنها لم تتعد قط حد إدينگتون. ونسب الفلكيون هذه الومضات إلى اندماج نووي حراري للهيدروجين أو الهيليوم، أو إلى تنامٍ مفاجئ sudden accretion للمادة باتجاه النجم. لكن سطوع انبثاقات SGR كان غير مسبوق، ومن ثم فقد بدا أن ثمة آلية فيزيائية جديدة أصبحت مطلوبة.

التباطؤ الدوراني الأبدي(*)

رُصدت آخر بثقة من مصدر الشهر 1979/3 في الشهر 1983/5 ولم تُرصد منه بثقات أخرى في التسعة عشر عاما التالية. وفي عام 1979 نشط أيضا مصدران آخران من النمط SGR، ولايزالان نشيطين، إذ أطلقا المئات من النفثات في الأعوام التالية. وقد اكتُشف مصدر رابع من النمط SGR عام 1998. لثلاثة من هذه المصادر الأربعة ارتباطات محتملة مع بقايا مستعر أعظمي فتي، لكن هذه الارتباطات لم تثبت بعد. هناك اثنان منها يقعان أيضا قرب حشود كثيفة لنجوم ضخمة فتية، وهذا يلمح إلى تكون المصادر SGR من هذا النوع من النجوم. وحديثا، نشط مصدر خامس مرشح ليكون من النمط SGR لم يُصدر بثقات كاما سوى مرتين فقط، لكن موقعه الدقيق لم يحدد بعد.

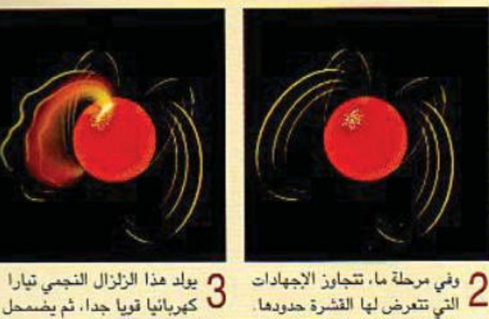
وفي عام 1996 توصل فريق من العلماء من المختبر الوطني بلوس آلاموس - هم <B. L. تشينك> و<R. J. إبستين> و<R. A. كاير> و<C. A. يانگ> - إلى أن بثقات المصادر من النمط SGR تشبه إحصائيا الزلازل الأرضية. فالتوزعات الرياضياتية للطاقة شديدة التشابه، إذ تحدث الانبثاقات ذات الطاقة الأقل بقدر أوفر. وقد تثبّت تليمذنا <E. كوكس> [الذي يُجري دراسات عليا في الالاباما بهانتسفل] من هذا السلوك لعينة كبيرة من الانبثاقات من مصادر مختلفة. هذه الخصائص الإحصائية هي سمة مميزة لأحداث **حرجة ذات تنظيم ذاتي** self-organized criticality، يصل فيها نظام مركب إلى حالة حرجة تجعل أي اضطراب طفيف يؤدي إلى تفاعل متسلسل. ويحدث هذا السلوك في أنظمة شتى مثل انهيارات التلال الرملية و**التوهجات المغنطيسية** magnetic flares على سطح الشمس.

(*) Spin Forever Down

كيف تحدث انفجارات المكنيتارات؟(*)

الحقل المغنطيسي لمكنيتار قوي إلى درجة تؤدي إلى تشقق قشرته وتفتيتها أحيانا، مطلقا قدرا كبيرا من الطاقة.







1 يكون المكنيتار هادئا معظم الوقت. لكن الإجهادات المغنطيسية تتراكم ببطء.

2 وفي مرحلة ما، تتجاوز الإجهادات التي تتعرض لها القشرة حدودها. عند ذلك تتكسر القشرة، وربما تتحول إلى عدد كبير من القطع.

3 يولد هذا الزلزال النجمي تيارا كهربائيا قويا جدا، ثم يضمحل مخلفا وراءه كرة نارية حارة.

4 تبرد الكرة النارية بوساطة إطلاقها أشعة سينية من سطحها، ثم تتبخر في دقائق، أو أقل.

لكن لماذا يتصرف نجم نتروني على هذا النحو؟ انبثق الحل من خط عمل مختلف تماما، ألا وهو **النباضات الراديوية** radio pulsars التي يُعتقد على نطاق واسع أنها نجوم نترونية ممغنطة سريعة الدوران. إن الحقل المغنطيسي لهذه النجوم (الذي تسانده تيارات كهربائية تنساب في أعماق النجم) يدور مع النجم، وهذا يؤدي إلى انبعاث أحزمة من الموجات الراديوية من القطبين المغنطيسيين للنجم، وبدورانها مع النجم، تجتاح هذه الموجات الفضاء، تماما كضوء منارات السفن، ومن هنا تأتي النبضات المرصودة. يطلق النجم النباض أيضا دفقة من الجسيمات المشحونة والموجات الكهرمغنطيسية المنخفضة التردد التي تستقطع بدورها طاقة وزخما **زاويًا** angular momentum من النجم، وهذا يتسبب في انخفاض معدل دورانه تدريجيا.

لعل النجم النباض الأكثر شهرة هو الكامن في **سديم السرطان** crab nebula، وهو بقايا انفجار مستعر أعظمي شوهد عام 1054. يدور هذا النجم حول نفسه مرة كل 33 ملي ثانية، ويتباطأ دورانه بمعدل 1.3 ملي ثانية لكل قرن. وبإجراء استقراء تراجعي لتغير سرعة دورانه وفق هذا المعدل، يتبين أن النجم قد وُلِد وهو يدور حول نفسه مرة كل 20 ملي ثانية. ويتوقع الفلكيون أن يستمر النجم في التباطؤ إلى أن يبلغ معدل دوران بطيء جدا لا يكفي لإصدار نبضات راديوية. لقد قيس **معدل تباطؤ التدويم** spin-down rate لجميع النباضات الراديوية تقريبا، وتشير الدراسات النظرية إلى اعتماده على شدة الحقل المغنطيسي للنجم. ومن هذه العلاقة، استُنتج أن الحقل المغنطيسي لغالبية النباضات الراديوية الفتية يقع بين 10^{12} و 10^{13} كاوس. وبغية المقارنة، فإن قوة مغنطيس الثلاجة قرابة 100 كاوس.

فرن الحمل الحراري الأعظم(**)

تترك هذه الصورة سؤالا أساسيا من دون جواب وهو: من أين انطلق هذا الحقل المغنطيسي في البداية؟ لقد كان الافتراض المعهود لمعظم الفلكيين أن الحقل المغنطيسي هو أثر النجم قبل تحوله إلى مستعر أعظمي. إن لجميع النجوم في حالتها العادية حقولا مغنطيسية ضعيفة، ومن الممكن أن تقوى هذه المجالات بفعل الانضغاط. ووفقا لمعادلات ماكسويل في الكهرمغنطيسية، فعند تقلّص جسم ممغنط إلى نصف حجمه الأصلي، فإن شدة حقله المغنطيسي تتضاعف أربع مرات. ولما كان حجم **اللب** core الداخلي لنجم ضخم يصغُر عند تحوله إلى نجم نتروني 10^{5} مرة، فإن شدة حقله المغنطيسي تكبر 10^{10} مرة.

وإذا كان الحقل المغنطيسي للب النجم قويا بدرجة كافية في البداية، فإن هذا الانضغاط يمكن أن يفسر مغنطيسية النجم النباض. لكن، لسوء الحظ، لا يمكن قياس الحقل المغنطيسي في أعماق النجم، لذا يصعب اختبار هذه الفرضية البسيطة. هناك أيضا أسباب وجيهة تدعو للاعتقاد بأن الانضغاط ليس سوى جزء من القصة.

يمكن للغازات أن تتحرك دائريا داخل النجم بفعل **الحمل الحراري** convection، فترتفع الأجزاء الساخنة من الغازات المتأينة في حين تهبط أجزاؤها الباردة. ولأن الغازات المتأينة موصلة جيدة للكهرباء، فأي خطوط للحقل المغنطيسي تتخلل الغازات، تنساق معها أثناء الحركة. لذا يمكن للحقل أن يتطور ويقوى أحيانا. تُعرف هذه الظاهرة باسم «**فعل الدينامو**» Dynamo Action، ويُعتقد أنها المسؤولة عن توليد الحقول المغنطيسية للنجوم والكواكب. قد يكون فعل الدينامو مؤثرا في كل مرحلة من حياة النجم تدور خلالها أجزاؤه الداخلية المضطربة بسرعة كافية. إضافة إلى ذلك، يشتد الحمل الحراري بوجه خاص خلال مدة قصيرة تعقب تحول لب النجم إلى نجم نتروني.

أظهر ذلك أول مرة عام 1986 في محاكيات حاسوبية أجراها <A. باروز> [من جامعة أريزونا] و<M .J. لاتيمير> [من جامعة نيويورك في ستوني بروك] إذ وجدا أن درجات الحرارة داخل نجم نتروني حديث الولادة تتجاوز 30 بليون درجة كلفن، وأن المائع النووي الساخن

(*) How Magnetar Bursts Happen

(**) العنوان الأصلي: he Ultimate Convection Oven

يدور داخل النجم مرة كل 10 ملّي ثانية، أو أقل، حاملا كمية هائلة من الطاقة الحركية. وبعد نحو 10 ثوان يتوقف الحمل الحراري.

وبعد مدة ليست بالطويلة من إجراء <باروز> و<لاتيمير> محاكاتهما الأولى، قام <دانكن> و<طومسون> [اللذان كانا بجامعة برنستون في ذلك الوقت] بتقدير ما يعنيه ذلك الحمل الحراري الهائج لمغنطيسية النجم النتروني. ويمكن للشمس، التي تمر بمرحلة هادئة من العملية نفسها، أن تكون مرجعا. فأثناء دوران المائع النووي داخل الشمس، يسحب معه خطوط الحقل المغنطيسي، ويتخلى له عن زهاء 10 في المئة من طاقته الحركية. وبالمثل، فلو أن المائع المتحرك داخل نجم نتروني يتخلى عن عُشر طاقته الحركية إلى الحقل المغنطيسي، لازدادت شدة الحقل لتتجاوز 10^{15} كاوس، وهي أقوى بأكثر من ألف مرة من شدة حقول معظم النباضات الراديوية.

يعتمد أداء فعل الدينمو داخل النجم كله (لا داخل مناطق محدودة منه) على كون معدل دوران النجم قريبا من معدل دوران تيارات الحمل الحراري. ويكون هذان المعدلان متماثلين داخل أعماق الشمس، حيث يستطيع الحقل المغنطيسي أن ينظم نفسه على نطاقات واسعة. وقياسا على ذلك، فإذا وُلِد نجم نتروني بمعدل دوران أسرع أو مساو لدور تيارات الحمل الحراري (10 ملي ثانية)، فباستطاعته إحداث حقل مغنطيسي فائق القوة وواسع الانتشار. وفي عام 1992، أسمينا هذه النجوم النترونية الافتراضية **مكنيتارات** magnetars.

يُقدر الحد الأعلى لمغنطيسية نجم نتروني بنحو 10^{17} كاوس؛ وإذا جرى تجاوز هذا الحد، فإن المائع النووي داخل النجم يختلط، ومن ثم يتبدّد الحقل. ليست هناك أجسام معروفة في الكون بإمكانها توليد حقول تتجاوز هذا المستوى، ثم الحفاظ عليها. أحد تفرعات نظريتنا هو أن النباضات الراديوية نجوم نترونية فشل فيها تأثير الدينمو الواسع النطاق في العمل. في حالة نباض السرطان، يدور النجم النتروني الحديث الولادة مرة كل 20 ملي ثانية، وهذا أبطأ بكثير من معدل دوران الحمل الحراري، لذلك فإن الدينمو لم يعمل قط.

تلألأْ وتَجعَّدْ أيها المكنيتار الصغير[*]

مع أننا لم نبتكر فكرة المكنيتار لشرح مصادر SGRs فإن تضميناتها سرعان ما أصبحت واضحة لنا. يعمل الحقل المغنطيسي ككابح قوي لدوران المكنيتار، ففي غضون خمسة آلاف سنة، سوف يبطئ مجال مغنطيسي شدته 10^{15} كاوس من معدل دوران النجم السريع إلى دورة واحدة كل ثماني ثوان، وهذا يفسر بدقة الذبذبات التي رُصدت خلال انفجار الشهر 1979/3.

وبتطور الحقل، تتغير هيئته دافعا تيارات كهربائية على طول خطوط الحقل خارج النجم. وهذه التيارات بدورها، تولد أشعة سينية. وفي غضون ذلك، ومع تحرك الحقل المغنطيسي عبر القشرة الصلبة للمكنيتار، فإنه يحدث انحناءات واستطالات في قشرة النجم. تسفر هذه العملية عن تسخين الجزء الداخلي للنجم، ومن حين إلى آخر، تنشق القشرة محدثة زلزالا نجميا قويا. تُحدث الطاقة المغنطيسية المحررة المصاحبة لهذا الزلزال سحابة كثيفة من الإلكترونات والبوزترونات، إضافة إلى انفجار مفاجئ **لأشعة كاما اللينة** soft gamma rays، وهذا يفسر الانبثاقات الأقل حدة التي تعطي SGRs اسمها.

وفي حالات نادرة، يصبح الحقل المغنطيسي غير مستقر، ومن ثم يخضع لإعادة تنظيم على نطاق واسع. وأحيانا تحدث انتفاخات مماثلة في الشمس، ولكن بدرجة أقل مسببة **توهجات (توقدات) شمسية** solar flares. ولدى المكنيتار طاقة كافية تمكنه بسهولة من إنتاج توهج هائل مثل الذي حدث في الشهر 1979/3. وتبين النظرية أن نصف الثانية الأول من زمن هذا الانفجار الضخم جاء من كرة نارية متمددة. وفي عام 1995 اقترحنا أن جزءا من الكرة النارية احتُجز بوساطة الحقل المغنطيسي قريبا من سطح النجم. وتدريجيا انكمشت هذه الكرة وتبخرت مطلقة أشعة سينية طوال الوقت. واستنادا إلى كمية الطاقة المحررة فقد قدرنا قوة الحقل المغنطيسي الضرورية لاحتواء الضغط الهائل للكرة النارية بأعلى من 10^{14} كاوس. وتتفق هذه النتيجة مع قوة الحقل المستنتجة من **معدل تباطؤ التدويم** spin-down rate.

وفي عام 1992 قدم <B. باشينسكي> [من جامعة برنستون] تقديرا مستقلا عندما لاحظ أن الأشعة السينية تنساب بسهولة أكبر خلال سحابة من الإلكترونات عندما تكون الجسيمات المشحونة مطمورة في حقل مغنطيسي شديد القوة. فلكي تكون الأشعة السينية شديدة السطوع خلال الانفجار، لا بد للحقل المغنطيسي أن يكون أقوى من 10^{14} كاوس.

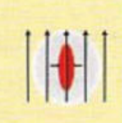
وما يجعل النظرية أكثر غموضا هو أن هذه الحقول أقوى من الحد الأعلى لشدة الحقل في **النظرية الكهردينامية الكمومية** quantum electrodynamics وهو $4x10^{13}$ كاوس. وفي حقول قوية كهذه، تحدث ظواهر غريبة، فقد تنقسم فوتونات الأشعة السينية إلى قسمين أو قد تندمج معا. ويصبح الخلاء نفسه مستقطبا وثنائي الانكسار تجاه الضوء مثل بلورات الكالسيت. هذا وتتشوه الذرات

مغنطيسية متطرفة[**]

للحقول المغنطيسية تأثير مريك في الإشعاع والمادة

الانكسار الثنائي للخلاء
تغير الموجات الضوئية المستقطبة *[اللون البرتقالي]* سرعتها، ومن ثم أطوالها الموجية، وذلك عند دخولها حقلا مغنطيسيا قويا جدا.

انقسام الفوتونات
الأثر الناجم عن ذلك هو أن الأشعة السينية إما أن تنقسم إلى قسمين، وإما أن تندمج معا. وهذه العملية مهمة في الحقول التي هي أقوى من 10^{14} كاوس.



إخماد التبعثر
يكن لموجة ضوئية أن تتسل عبر إلكترون *[الدائرة السوداء]*، مواجهة إعاقة طفيفة إذا منع الحقل الإلكترون من الاهتزاز مع الموجة.

تشويه الذرات
إن الحقول التي هي أقوى من 10^9 كاوس تضغط مدارات الإلكترونات لتتخذ أشكال سيكار cigar. وفي حقل قوته 10^{14} كاوس، تضيق ذرة الهيدروجين في وسطها 200 مرة.

Extreme Magnetism (**)

Crinkle Twinkle Litte Magnetar (*)

لتتخذ أشكالا أسطوانية طويلة أكثر دقة من الطول الموجي **الكمومي النسبي quantum-relativistic wavelength** للإلكترون [أنظر *الشكل في الصفحة 57*]. ولجميع هذه الظواهر الغريبة تأثيرات يمكن مشاهدتها في المكنيتارات. ولأن هذه الفيزياء غريبة جدا فقد جذبت النظرية عددا صغيرا من الباحثين في ذلك الوقت.

انطلق مرة أخرى(*)

حينما كانت هذه التطورات النظرية تظهر للعيان ببطء، ظل الفلكيون يناضلون لرؤية الأجسام التي هي مصادر هذه الانبثاقات. وقد سنحت الفرصة الأولى عندما سجَّل مرصد Compton Gamma Ray observatory التابع للوكالة ناسا بُثْقَةً في الشهر 1993/10. كانت هذه هي الفرصة التي تنتظرها ‹كوڤليوتو› عندما انضمت إلى فريق مرصد Compton في مدينة هانتسفل. استطاع المرصد تحديد مكان الانفجار، لكن في حيز واسع من السماء. طلبت ‹كوڤليوتو› المساعدة من الساتل الصنعي الياباني ASCA، ووجد ‹T. مراكامي› مع معاونيه [من معهد علوم الفضاء والملاحة الفضائية الياباني] أن هناك مصدرا للأشعة السينية في الحيز نفسه. ظل المصدر يبث المستوى نفسه من الإشعاع، إلى أن أطلق انبثاقا آخر مثبتا بما لا يدعو للشك أنه من النوع SGR. وقد شوهد المصدر نفسه أول مرة في عام 1979، وبناء على إحداثياته السماوية التقريبية، أُطلق عليه اسم SGR 1806-20. والآن، جرى تعيين موقع النجم بدقة أعلى، وهذا يمكّن من مراقبة أنشطته عبر الطيف الكهرمغنطيسي.

جاءت الطفرة التالية عام 1995 عندما أطلقت الوكالة ناسا المستكشف Rossi X-ray Timing Explorer (RXTE)، وهو ساتل صمم ليكون بالغ الدقة والحساسية لقياس التغيرات في الأشعة السينية. وباستخدام هذا المرصد، وجدت ‹كاڤليوتو› أن البث من SGR 1806-20 يتذبذب بزمن دوري قدره 7.47 ثانية، وهذا يجعله قريبا على وجه مدهش من التذبذب ذي الثماني ثوانٍ، الذي رُصِد في انبثاق الشهر 1979/3 (من SGR 0526-66). وفي غضون خمس سنوات تباطأ دوران (تدويم) هذا المصدر (SGR) اثنين في الألف. ومع أن مقدار هذا التباطؤ قد يبدو صغيرا، فهو أسرع من أي نباض راديوي معروف، ويستلزم حقلا مغنطيسيا يقارب 10^{15} كاوس.

تتطلب الاختبارات الأكثر دقة لنموذج المكنيتار توهجا ضخما آخر. ولحسن الحظ، استجابت السماء بسرعة. ففي الصباح الباكر من 1998/8/27 بعد 19 عاما من التوهج الضخم الذي كان وراء بداية معرفة علم الفلك للمصادر SGR، وصلت الأرض موجة أشد من أشعة كاما والأشعة السينية قادمة من أعماق الفضاء. ودفعت هذه الأشعة كاشفات الإشعاع على متن سبع سفن فضائية علمية إلى أعلى معدلات القياس، أو تجاوزت الحدود القصوى للمقياس. وفي إجراء وقائي أُجبر أحد مسابير ناسا وهو Comet Rendezvous Asteroid Flyby على التوقف عن العمل. لقد ضربت أشعة كاما الجانب المظلم للأرض حيث كان سَمْتُ zenith مصدرها فوق منتصف المحيط الهادئ.

ومصادفة، كان المهندس ‹عمران عنان› وزملاؤه [من جامعة ستانفورد] يجمعون بيانات عن انتشار موجات راديوية ذات تردد منخفض جدا حول الأرض. وفي الساعة الثالثة والدقيقة 22 صباحا بتوقيت غرب الولايات المتحدة لاحظوا تغيرا مفاجئا في الطبقة العليا المتأينة للغلاف الجوي. فقد هبطت الحافة الداخلية لطبقة الأيونوسفير ionosphere من ارتفاع 85 كيلومترا إلى 60 كيلومترا وظلت هكذا مدة خمس دقائق. كان ذلك مدهشا حقا، فقد سبَّب هذا التأثير في كوكبنا نجمٌ نتروني من المجرة على بعد عشرين ألف سنة ضوئية.

أعجوبة أخرى للمكنيتار(***)

كان انفجار 1998/8/27 نسخة طبق الأصل من توهج الشهر 1979/13. وبصفة أساسية، فقد كانت قوته عُشر قوة بُثْقة الشهر 1979/3، لكن لما كان مصدر التوهج أقرب إلى الأرض، فقد كان أشد توهج مرصود لأشعة كاما من بين الانفجارات التي أتتنا من خارج المنظومة الشمسية. وقد أظهرت بضع المئات الأخيرة من الثواني من التوهج ذبذبات واضحة دورها 5.16 ثانية. لقد قامت ‹كوڤليوتو› وفريقها بقياس معدل تباطؤ تدويم النجم باستخدام المرصد RXTE، ومن المؤكد أن النجم SGR 1900+14 كان يتباطأ بمعدل مقارب لمعدل تباطؤ المكنيتار SGR 1806-20، مشيرا إلى حقل مغنطيسي قوي ذي شدة مماثلة. وبذلك دخل نجم جديد من النوع SGR دائرة الشهرة.

لقد سمح التحديد الدقيق لمواقع SGR في الأشعة السينية بدراستها باستخدام المقاريب الراديوية ومقاريب الأشعة تحت الحمراء. وقد استحدث هذه التقنية العديد من الفلكيين لاسيما ‹D. فريل› [من المرصد الوطني للفلك الراديوي] و‹S. كولكرني› [من معهد كاليفورنيا للتقانة]. وأظهرت أرصاد أخرى أن جميع مصادر SGRs الأربعة مستمرة في إطلاق طاقة ضعيفة (الأشعة السينية) تتخلل انفجارات كاما. وكلمة «ضعيفة» هنا نسبية، لأن هذه الأشعة السينية أقوى مما تصدره الشمس منها في الضوء المرئي بين 10 و 100 مرة.

يمكن الآن القول إن الحقول المغنطيسية للمكنيتارات تقاس بطريقة أفضل من قياس الحقول المغنطيسية للنباضات. ففي النباضات المنعزلة يأتي الدليل الوحيد على وجود حقول شدتها 10^{12} كاوس من معدل تباطؤ التدويم. وبالمقابل، فإن اتحاد معدل تباطؤ التدويم العالي والتوهجات الساطعة للأشعة السينية يُعطي حججا مستقلة على وجود حقول بقوة 10^{15} كاوس في المكنيتارات. وخلال إرسال هذه المقالة إلى المجلة قدم ‹علاء إبراهيم› ومعاونوه [من مركز كودارد للطيران الفضائي التابع للوكالة ناسا] مجموعة أخرى من الأدلة على وجود حقل مغنطيسي قوي في المكنيتارات متمثل بخطوط طيفية للأشعة السينية تبدو منبعثة من بروتونات تدور في مجال قدره 10^{15} كاوس.

وهناك تساؤل مثير للاهتمام، وهو يدور حول ما إذا كانت المكنيتارات مرتبطة بظواهر كونية أخرى إضافة إلى مصادر SGRs. وعلى سبيل المثال، هناك فئة من انبثاقات أشعة كاما القصيرة الأمد من نوع GRB التي لم تفسر بعد بطريقة مقنعة، ويمكن على الأقل لعدد قليل منها أن تكون توهجات مكنيتارات في مجرة أخرى. فحتى إذا شوهد توهج هائل من مسافات بعيدة، فسوف يكون قريبا من حدود حساسية المقاريب، وسوف تُسجَّل فقط الومضة الساطعة القصيرة الأمد من أشعة كاما الشديدة، وتصنف على أنها انبثاقات من النوع GRB.

Zapped Again (*)

Another Magneto Marvel (***)

وفي منتصف التسعينات، اقترح ‹طومسن› و ‹دانكن› أن بإمكان نموذج المكنيتار أن يفسر أيضا نبّاضات الأشعة السينية الشاذة (AXPs)، وهي نوع من النجوم التي تشبه نجوم SGRs في أوجه عدة. كانت الصعوبة الوحيدة التي واجهت هذه الفكرة أننا لم نشاهد انفجارات من هذه المصادر. لكن ‹V. M. كاسبي› و‹P. F. كافريل› [من جامعة ماككيل] و‹M. P. وودز› [من المركز الوطني للفضاء، والتقانة بمدينة هانتسفل] تمكنوا حديثا من رصد انبثاقات من مصدرين من النباضات السبعة AXPs المعروفة. أحد هذه النجوم مقترن ببقايا مستعر أعظمي حديث في كوكبة ذات الكرسي cassiopeia.

هناك نباض AXP آخر في الكوكبة نفسها هو أول مرشح ليكون مكنيتاراً رصد نشاط له في الضوء المرئي. لقد لاحظ ذلك قبل ثلاث سنوات ‹F. هولمان› و‹M. ڤان كيركويك› [من جامعة أوترتخت بهولندا] بالتعاون مع ‹Sh. كولكرني›. ومنذ ذلك الحين، يقوم ‹H. كيرن› و‹C. مارتن› [من معهد كاليفورنيا للتقانة] برصد سطوع هذا النجم في الضوء المرئي. وعلى الرغم من خفوت ضوئه إلى حد بعيد، فإنه ينبض في الضوء المرئي بنفس دور الأشعة السينية المنبعثة من هذا النجم النتروني. تدعم هذه الأرصاد فكرة أن هذا النجم هو حقا مكنيتار. ويتنبأ البديل الرئيسي لنموذج المكنيتار ـ أي إن النباضات AXPs نجوم نترونية عادية محاطة بأقراص من المادة ـ بكمية مفرطة من الإشعاعات المرئية وتحت الحمراء ذات نبضات ضعيفة جدا.

وعلى ضوء هذه الاكتشافات الحديثة والهدوء الظاهري للمكنيتار الكامن في السحابة الماجلانية الكبيرة طوال عشرين عاما تقريبا، يبدو أن المكنيتارات قادرة على أن تغير رداءها لتبقى ساكنة سنين أو عقودا قبل أن تمر بفترات مفاجئة من النشاط المفرط. ويحاجُّ بعض الفلكيين في أن النباضات من النوع AXPs أصغر عمرا في المتوسط من النجوم SGRs، لكن هذا الأمر لايزال محل جدل. فإذا كان كلاهما من نوع المكنيتار، فمن المقبول أن تكون هذه النجوم جزءا جوهريا من مجموع النجوم النترونية في الكون.

تُعتبر قصة المكنيتار تذكرة واقعية لنا بأن الإنسان مازال يجهل الكثير عن الكون. فحتى الآن، لم نكتشف سوى قلة من المكنيتارات من بين عدد لانهائي من النجوم. تُعلن هذه النجوم عن نفسها خلال جزء من الثانية، وفي ضوء لا تستطيع رصده إلا أشد المقاريب تطورا وتعقيدا. وخلال عشرة آلاف عام، ستفنى الحقول المغنطيسية للمكنيتارات وتتوقف عن إصدار الأشعة السينية الساطعة. لذا فهذه الدستة المعروفة من المكنيتارات تُفشي سر وجود أكثر من مليون، وربما مئة مليون مكنيتار قديم، انطفأ توهجها قبل زمن طويل. وتجوب هذه العوالم الغريبة من المكنيتارات الخامدة المعتمة الفضاء البينجمي. تُرى، كم من الظواهر الكونية الأخرى الشديدة الندرة والسريعة الزوال، التي لم نعرفها بعد، تتوارى عنا في ذلك الفضاء؟ ■

المؤلفون

Chryssa Kouveliotou - Robert C. Duncoan - Christopher Thompson

يتعاونون في دراسة المكنيتارات منذ خمس سنوات، وخبرتهم الإجمالية في هذا المجال نحو 40 عاما. تعمل الراصدة ‹كوڤليوتو› في المركز القومي لعلوم الفضاء، والتقانة بهانتسفل في ولاية الاباما. وإضافة إلى دراستها لنجوم SGR فهي تهتم أيضا بدراسة انبثاقات أشعة كاما Gamma Ray Bursts وثنائيات الأشعة السينية X-ray Binaries، وتشمل هواياتها علوم الآثار واللغويات. يعمل ‹دانكن› في جامعة تكساس بأوستن. أما ‹طومسون› فيعمل في المعهد الكندي للفيزياء الفلكية النظرية بتورنتو. درس ‹دانكن› المستعرات الأعظمية والحالة المادية للكواركات quark matter والسحب الغازية بين المجرات. وتتنوع أبحاث ‹طومسون› من دراسة الأوتار الكونية cosmic strings إلى الارتطامات الكبيرة في المراحل المبكرة للمنظومة الشمسية.

اكتشافات جديدة

شهد عام 2004 حدثين مهمين لنجوم المكنيتار اشتملا على اكتشاف نوع جديد من هذه النجوم ورصد توهج هائل من نوع Giant Flare.

- في 2004/12/27 أطلق المكنيتار SGR 1806-20 توهجا هائلا من نوع Giant Flare هو الثالث من هذه النوعية بعد انفجاري 1979/3/5 و 1998/8/27. كان ذلك الانفجار الأكبر من حيث الطاقة وشدة اللمعان وقد صُنف بأنه أقوى انفجار كوني على الإطلاق [انظر: "In Focus," Scientific American, June 2005]، وقد قام مرصد SWIFT الحديث التابع لوكالة ناسا برصد الانفجار وأكد الباحثون في المختبر الوطني بلوس آلاموس أن طاقة الانفجار تجاوزت طاقة نظيريه السابقين بأكثر من 100 ضعف، الأمر الذي جعله أشد إضاءة من القمر!
- في أوائل عام 2004 تم الإعلان عن اكتشاف نوع جديد من المكنيتارات أطلق عليها المكنيتارات المموهة transient magnetars. يظل هذا النوع من النجوم النترونية خامدا لفترات طويلة تقدر بعشرات السنين، مما يجعلها دون مستوى الرصد، ثم تنشط فجأة لفترات وجيزة. يدل هذا الاكتشاف الذي قام به ‹علاء إبراهيم› ورفاقه من مركز ناسا كودارد لطيران الفضاء، على تضاعف أعداد نجوم المكنيتارات في مجرتنا وعلى إمكانية تتبع دورة حياتها في أطوارها المختلفة [انظر: http://imagine.gsfc.nasa.gov/docs/features/news/28jan2004.htm http://www.nasa.gov/centers/goddard/news/topstory/2004/0106magnetar.html]

(التحرير)

مراجع للاستزادة

Formation of Very Strongly Magnetized Neutron Stars: Implications for Gamma-Ray Bursts. Robert C. Duncan and Christopher Thompson in *Astronomical Journal*, Vol. 392, No. 1, pages L9–L13; June 10, 1992. Available at makeashorterlink.com/?B16A425A2

An X-ray Pulsar with a Superstrong Magnetic Field in the Soft Gamma-Ray Repeater SGR1806–20. C. Kouveliotou, S. Dieters, T. Strohmayer, J. Von Paradijs, G. J. Fishman, C. A. Meegan, K. Hurley, J. Kommers, I. Smith, D. Frail and T. Murakami in *Nature*, Vol. 393, pages 235–237; May 21, 1998.

The Life of a Neutron Star. Joshua N. Winn in *Sky & Telescope*, Vol. 98, No. 1, pages 30–38; July 1999.

Physics in Ultra-strong Magnetic Fields. Robert C. Duncan. Fifth Huntsville Gamma-Ray Burst Symposium, February 23, 2002. Available at arXiv.org/abs/astro-ph/0002442

Flash! The Hunt for the Biggest Explosions in the Universe. Govert Schilling. Cambridge University Press, 2002.

More information can be found at Robert C. Duncan's Web site: solomon.as.utexas.edu/magnetar.html

داخل دماغ إنسان ذاكرته خارقة[*]

يمتلك ‹كيم بيك› واحدة من أعجب الذاكرات التي عُرفت حتى الآن. وقبل أن نتمكن من تفسير إمكاناته، لا يمكننا أن ندعي فهمنا المعرفة البشرية.

‹A. D.› ترفيرت ـ ‹D. D.› كرستنسن

يوم وصف ‹J. L.› داون› متلازمة الذاكرة الخارقة savant syndrome في عام 1887 وأعطاها اسمها ولاحظ ارتباطها بقدرات مذهلة في الذاكرة، استشهد بمريض استطاع سرد نصّ إدوارد ‹E.› گيبون› حول «أفول الإمبراطورية الرومانية وسقوطها». ومنذذاك جرى ربط هذه الذاكرة الخارقة بأحد المجالات مثل الموسيقى أو الفن أو الرياضيات. ولكن هذه الذاكرة الاستثنائية هي نفسها مهارة رجل عمره أربع وخمسون سنة يدعى ‹كيم بيك› ويدعوه أصدقاؤه ‹كيم ـ بيوتر›[1].

يستطيع ‹كيم› في الواقع، أن يستحضر فعلا من مكتبته الذهنية بسرعة تعادل سرعة استحضار ماكينة البحث عن المعلومة في الإنترنت. لقد قرأ كتاب ‹T.› كلانسي› بعنوان *The hunt for red October* في ساعة وخمس وعشرين دقيقة. ولدى سؤاله بعد ذلك بأربعة أشهر، أعطى اسم مشغِّل الراديو الروسي المذكور في الكتاب مشيرا إلى الصفحة التي تصف ذلك الشخص ومقتبسا منه بضع فقرات بنصِّها الحرفي. لقد بدا ‹كيم› يتذكر الكتب وهو في عمر الثمانية عشر شهرا بالنص الذي قُرئ له. وقد تعلَّم تسعة آلاف كتاب عن ظهر قلب حتى الآن. إنه يقرأ صفحة في ثماني ثوان إلى عشر ويضع الكتاب مقلوبا رأسا على عقب في رفوف المكتبة للدلالة على استظهاره إياه في سوّاقته hard drive العقلية.

نظرة إجمالية/ قمم بيك[**]

- تسري قوى ذاكرة هائلة في كل تظاهرة معروفة لمهارة ترتبط بمتلازمة الذاكرة الخارقة. وفي حالة ‹كيم بيك› فإن الذاكرة هي بحد ذاتها المهارة.
- يبدي دماغ ‹كيم› عدة شذوذات، بما في ذلك غياب الجسم الثفني. ويبقى ذلك الشذوذ الخاص في حالة ‹كيم› بحاجة إلى تفسير، ولكنه يثير سؤالا تثيره المهارات المرتبطة بتلك المتلازمة ومفاده: هل ينبه العطل الدماغي تناميا معاوضا في منطقة أخرى من الدماغ، أم إنه يتيح فقط بروز قدرات كامنة كانت هاجعة؟
- لقد تطور لاحقا تعلم ‹كيم› عن ظهر قلب إلى شكل من التفكير الترابطي ذي دلالة واضحة على الإبداع. ومن ثم ساعده نجاحه على أن ينخرط في العالم الأوسع. ويستنتج المؤلفان أن مهارات متلازمة الذاكرة الخارقة لا يجوز أبدا إغفالها، بل يجب تنميتها لصالح النمو الفكري والاجتماعي للمريض.

تمتد ذاكرة ‹كيم› لتشمل ما لا يقل عن 15 موضوعا تتناول فيما تتناول تاريخ العالم، تاريخ أمريكا، الرياضيات، الأفلام السينمائية، الجغرافيا، برامج الفضاء، المثلين والممثلات، الإنجيل وتاريخ الكنيسة، الآداب، شكسبير، والموسيقى الكلاسيكية. إنه يعرف كودات المناطق والكودات البريدية في الولايات المتحدة إلى جانب محطات التلفزة التي تغطي هذه المواضع. إنه يعرف كذلك الخرائط الموجودة في مقدِّمات أدلة الهاتف ويستطيع أن يروي تعليمات السفر كتلك التي ترد في موقع الياهو Yahoo بالنسبة إلى أي مدينة في الولايات المتَّحدة أو بين كل مدينتين. إنه يستطيع تمييز مئات المؤلفات الموسيقية الكلاسيكية وزمان ومكان نظمها وتنفيذها لأول مرة، وكذلك اسم من نظمها والعديد من تفاصيل سيرهم الذاتية، وحتى مناقشة المكوِّنات النغمية والمنهجية للقطع الموسيقية. ولعل ما هو أكثر إثارة أنه حاليا أخذ على ما يبدو تطوير مهارة جديدة في منتصف العمر. فبينما كان من قبل يستطيع مجرد التحدث في الموسيقى، فإنه في السنتين الماضيتين أخذ يتعلم عزفها.

إن هذا إنجاز مذهل في ضوء مشكلاته الخِلْقية الشديدة، التي تعدُّ خصائص يتشارك فيها بدرجات متفاوتة جميع أصحاب الذاكرات الخارقة. فهو يمشي مشية مائلة ولا يستطيع أن يزرِّر ثيابه ولا أن يتدبر أعماله الروتينية اليومية، كما يلاقي صعوبات في التجريد abstraction. وفي مقابل هذه العاهات، فإن مواهبه، التي تتفوق على نحو استثنائي على مثيلاتها لدى أي شخص، تشرق أيَّما إشراق. وتفسير الطريقة التي يؤدي بها ‹كيم› أفعاله قد توضح بصورة أفضل لِمَ تحدث مهارات معينة (بما في ذلك تلك المهارة الغامضة المعتادة في **حساب المفكرة** calendar calculating التي تصحب على الدوام الذاكرة الضخمة) بمثل هذا الانتظام بين أصحاب الذاكرات الخارقة. ومؤخرا، حينما قال له شخص كان قد أجرى مقابلة معه بأنه ولد في 1956/3/31، قال له ‹كيم› في أقل من

(*) العنوان الأصلي: INSIDE THE MIND OF A SAVANT فهذا التغيير في العنوان الأصلي أملاه مضمون المقالة. وجدير بالذكر أن المترادفات الإنكليزية لكلمة savant هي: scholar, learned man, giant of learning, colossus of knowledge, mine of information, walking encyclopedia.

(**) Overview / Peek's Peaks

(1) Kim-Puter

(التحرير)

ثانية: إن ذلك كان في يوم السبت من نهاية أسبوع عيد الفصح.

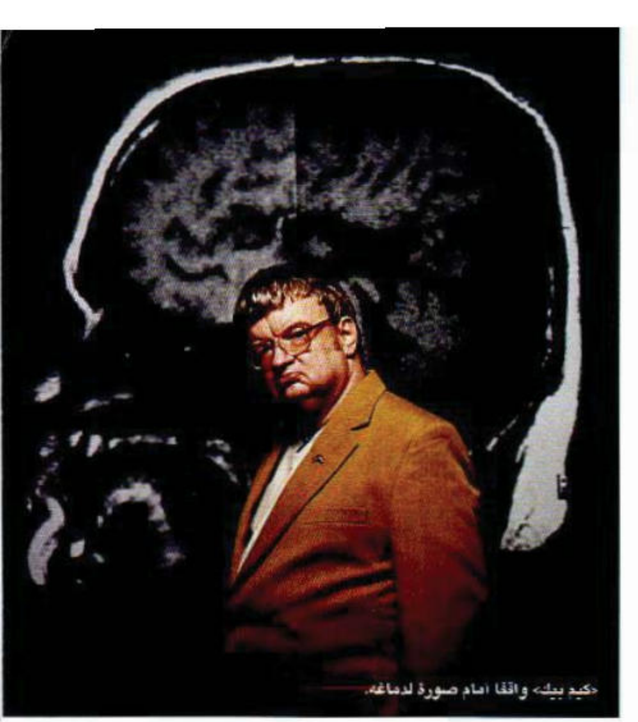
تبدي دراسات تصوير دماغ «كيم» المأخوذة حتى الآن شذوذا بنيويا كبيرا (*انظر الإطار في الصفحة 63*). ولكن لا يمكن حتى اليوم الربط المباشر بين هذه المكتشفات وأي من مهارات «كيم»؛ وذلك البحث قد بدا للتوّ. ولكن، قد تستطيع تقنيات جديدة للتصوير تتناول وظائف الدماغ (بدلا من بنيته فقط) أن توفر لنا فهما أفضل في هذا الصدد. وفي هذه الأثناء، نعتقد أن توثيق الأشياء المهمة التي يفعلها «كيم» أمر جدير بالاهتمام؛ إذ ليس من السهل العثور على أناس مثله ممن يفيدنا أن نسجل خاصّياتهم لصالح الأبحاث المستقبلية. هذا ويفتح موضوع الذاكرات الخارقة نافذة فريدة داخل العقل. فإذا لم نتمكن من تفسيره، فلن نتمكن من ادعاء فهم تام لكيفية عمل الدماغ.

دماغ غير عادي(*)

ولد كيم في 1951/11/11 (وكان ذلك يوم أحد حسبما يقول). كان رأسه كبيرا وفي قفاه **قيلةٌ دماغية** encephalocele (أو بثرة بحجم البيسبول) تحلّلت تلقائيا. ولكن وجدت لديه أيضا شذوذات دماغية أخرى تتضمن مخيخا مشوّها. وقد قام أحدنا (كرستنسن) بعمل المسوح الأولية لدماغ «كيم» في عام 1988، ثم تابع تقدّمه منذ ذلك الحين.

يمكن أن تعلّل النتائج المخيخيّة مشكلات «كيم» المتعلقة بالتنسيق و**الحركية** mobility. ولكن الأكثر لفتا للانتباه هو غياب **الجسم الثفني** corpus callosum الذي يشكل تلك السويقة الكبيرة من النسيج العصبي التي تربط في الحالة السوية بين نصفي الكرة المخية الأيمن والأيسر. إننا لا نعرف ماذا يترتب على هذا العيب؛ لأنه، على ندرته، لا يترافق باضطرابات وظيفية. فقد وجد من الناس من افتقد هذه البنية من دون أن يعاني أي مشكلات يمكن الكشف عنها. ولكن مع ذلك فإن من أجريت لهم عملية شق للجسم الثفني في كُهولتهم (بقصد محاولة منع انتشار نوبات الصرع من أحد النصفين المخيّين إلى النصف الآخر) تنشأ لديهم متلازمة مميزة للدماغ المشطور يبدأ فيها نصفا الكرة المخيّة المنفصلان بالعمل مستقلين تقريبا أحدهما عن الآخر.

قد يبدو أن أولئك الذين يولدون من دون جسم ثفني يطوّرون قنوات اتصال بين نصفي الكرة المخية. وربما كانت هذه البنى الحاصلة تتيح للنصفين المخيين أن يعملا في نواح معينة وكأنهما نصف مخيّ واحد عملاق يضم تحت سقف واحد وظائف كانت منفصلة. فإذا كان الأمر كذلك، فإن «كيم» قد يدين ببعض مواهبه إلى هذا الشذوذ الخاص. وفي جميع الأحوال، فإن حقيقة كون بعض الناس الفاقدين للجسم الثفني لا يبدون شذوذات فيما يتمتع آخرون بذاكرات خارقة، إنما تجعل وظيفة الجسم الثفني أقل وضوحا عما كان يعتقد. ويتندّر علماء الأعصاب بأن وظيفتي الجسم الثفني الوحيدتين تقتصران على نشر نوبات الصرع وضم الدماغ بعضه إلى بعض.



«كيم بيك» واقفا أمام صورة لدماغه.

تقودنا الناحية النظرية في اتجاه واحد وهو كون دماغ «كيم» يبدي شذوذات في نصف الكرة المخية الأيسر، وهذا نموذج يلاحَظ لدى العديد من أصحاب الذاكرات الخارقة. وأكثر من ذلك، فقد اعتبر عُطْلُ النصف المخي الأيسر تفسيرا لكون الذكور أكثر احتمالا من الإناث ليس فقط لامتلاك ذاكرات خارقة وإنما أيضا لإظهار **خلل القراءة** dyslexia و**التأتأة** stuttering وتأخر النطق و**الذاتوية (التوحد)** autism. وتتضمن الآلية المقترحة لذلك منحنيين اثنين: أولهما امتلاك الأجنة الذكرية مستوى عاليا من التستوستيرون الجوّال في الدم بحيث تكون سامة لنسج الدماغ المتنامية، والآخر أن النصف المخي الأيسر يتنامى بشكل أبطأ من نمو النصف المخي الأيمن فيبقى لذلك عطوبا مدة أطول. وكذلك تؤيد دور أذية النصف المخي الأيسر حالاتُ متلازمة **الذاكرة الخارقة المكتسبة** acquired savant syndrome التي ذكرتها تقارير عديدة حول الظهور المفاجئ لذاكرات خارقة لدى أطفال كبار وبالغين عقب إصابتهم بأذية في نصف الكرة المخية الأيسر.

ماذا يعني هذا الدليل ضمنا؟ ثمة إمكانية بأن النصف المخي الأيسر حينما لا يستطيع أن يعمل كما ينبغي، يقوم النصف المخي الأيمن بالتعويض عنه عبر مهارات جديدة، ربما عن طريق تجنيد نُسُج دماغية تكون في الحالة السوية معدّة لأغراض أخرى. وثمة إمكانية أخرى تتمثل في أن عطل النصف المخي الأيسر يكشف مهارات كانت كامنة في النصف المخي الأيمن طوال الوقت، وهي ظاهرة دعاها البعض بالتحرر من «طغيان» النصف المخي الأيسر المهيمن.

(*) An Unusual Brain



‹كيم› وهو يقرأ صفحة في غضون ثماني ثوانٍ إلى عشر، وفي الوقت نفسه مستظهرا إياها عن ظهر قلب. وتتضمن مكتبته الذهنية ذات التسعة آلاف كتاب تغطية موسوعية لكل شيء من ‹شكسبير› وصولا إلى الملحنين الموسيقيين، ثم إلى خرائط جميع المدن الرئيسية في الولايات المتحدة.

لقد خضع ‹كيم› لاختبار نفساني في عام 1988. وقد كان «نسبة الذكاء» IQ[1] لديه 87. ولكن الاختبارات الفرعية اللفظية والأدائية لهذه النسبة تفاوتت كثيرا، إذ وقعت بعض نسب الذكاء في المدى الأعلى للذكاء، ووقع بعضها الآخر في مدى المعوقين عقليًا. ولذلك خلص التقرير النفساني إلى أن «تصنيف نسبة الذكاء لدى ‹كيم› لا يشكل وصفا صحيحا لقدرته الفكرية.» **والنقاش حول الذكاء العام** general intelligence **مقابل الذكاءات المتعددة** multiple intellegencies يحتدم أواره في علم النفس. وإننا نعتقد أن حالة ‹كيم› هذه تناصر ما خلص إليه ذلك التقرير النفساني.

لقد وصَف التشخيص الإجمالي حالة ‹كيم› بأنها «حالة اضطراب في التشكل والنمو ليس إلاّ» وتخلو من أي تشخيص لاضطراب **ذاتوي (توحدي)** autistic. وبالفعل، فمع أن الذاتوية غالبا ما تترافق بمتلازمة الذاكرة الخارقة أكثر من أي اضطراب وحيد بعينه، فإن أكثر من نصف عدد الذين تظهر لديهم هذه المتلازمة هم ذاتويون. ولكن على العكس من الذاتويين، فإن ‹كيم› شخص صدوق ووسيم. ولعل أحد الأمور التي لا تبدو ضرورية للتنامي الكامل لمهارات متلازمة الذاكرة الخارقة هو الانكباب القوي على مادة الموضوع ذي الصلة.

الذاكرة والموسيقى(*)

في حالة ‹كيم›، بدأت جميع اهتماماته باستظهار فطري، ولكنها تقدمت لاحقا إلى ما هو أكثر من ذلك. ومع أن ‹كيم› لا يمتلك سوى مقدرة محدودة على التجريد أو التفكير المفاهيمي (إذ إنه لا يستطيع على سبيل المثال أن يشرح العديد من الأمثال العادية)، فإنه يفهم فعلا الكثير من المواد التي استودعها في ذاكرته. وتعدُّ هذه الدرجة من الفهم غير عادية بين من لديه متلازمة الذاكرة الخارقة. وقد صاغ «داون»[2] نفسه عبارة **الالتصاق اللفظي** verbal adhesion كوصف لمقدرة مرضى متلازمة الذاكرة الخارقة على تذكر كميات هائلة من الكلمات من دون أن يفهمها. وقد أبرزت ذلك ‹سارة باركر› [وهي طالبة في علم النفس بجامعة پنسلڤانيا] على نحو زاهٍ في وصفها أحد هؤلاء المرضى يدعى ‹كوردون› قائلة: «إن امتلاك ترسانة طوب لا يجعل منها عمارة من الحجر.» أما ‹كيم› فإنه لا يمتلك ترسانة كبيرة من الطوب فحسب، بل أصبح أيضا عمارة مفردات مبدعة وجامعة للفنون ضمن ساحات مهارته.

أحيانا تكون ردود ‹كيم› على الأسئلة أو التوجيهات حصرية وحرفية تماما. فحينما طلب إليه والدُه ذات مرة في أحد المطاعم أن يخفض صوته، انزلق منخفضا في كرسيه وبذلك خفَّض صندوق صوته. وفي حالات أخرى قد تبدو أجوبته ألمعية تماما. ففي أحد أحاديثه أجاب عن سؤال حول خطاب ألقاه ‹أبراهام لنكولن› في عام 1863 بخصوص معركة جيتسبرگ بقوله: «في **دار ويلز** will's house، 227 شارع نورث وست فرونت، ولكنه مكث هناك ليلة واحدة. لقد ألقى خطابه في اليوم التالي.» لم يقصد ‹كيم› النكتة، ولكن حينما رأى سائله يضحك أدرك النقطة، وأخذ منذئذ يكرر القصة بقصدٍ وتأثير مرحين.

لكن ‹كيم› يمتلك قوة لا تقبل الجدل على إقامة ترابطات ذكية. ففي أحد الأيام حضر احتفالا يخص شكسبير رعاه فاعل خير سُمِّي بالأحرف الأولى من اسمه ‹O.C.›، وقد حال مرض هذا الأخير بالتهاب الحنجرة دون قيامه بالإعراب عن امتنانه لتكريمه، وهنا بادر ‹كيم› المحب لشكسبير والمولع مثله **بالتورية** punster إلى القول مازحا: «هيا ‹O.C.›، ألا يمكنك قول ذلك؟»

إن مثل هذا الاستخدام الخلاّق لمادة كانت قد استظهرت أصلا على السجيّة، يمكن أن ينظر إليه كمكافئ لفظي لارتجال موسيقار. فمثلما هي حال الموسيقى، يفكرُ ‹كيم› بسرعة تبلغ حد صعوبة مجاراة ترابطاته المعقدة. فهو يتقدّم على جمهوره خطوتين أو ثلاث خطى في استجاباته.

ومؤخَّرا تجلّى بُعْدٌ جديد مذهل إلى حدٍّ ما في مهارات متلازمة الذاكرة الخارقة لدى ‹كيم›. ففي عام 2002 قابل ‹كيم› مديرة المكتبة الموسيقية McKay وأستاذة الموسيقى في جامعة يوتا، ‹A. كرنيان›. وسرعان ما بدأ بفضل مساعدتها يعزف على البيانو ويحسِّن حوار صياغاته الموسيقية بعزف فقرات منها عارضا على لوحة مفاتيح البيانو عدة قطع استذكرها من مكتبته الذهنية الضخمة. ونشير إلى أن ‹كيم› يمتلك ذاكرة طويلة الأمد لطبقة الصوت، إذ يتذكر مستوى الطبقة الأصلية لكل قطعة موسيقية.

يمتلك ‹كيم› معرفة تامة بأجهزة أوركسترا السمفونية التقليدية ويحدِّد بسرعة طابع (جرس) أي مقطوعة **الآتية** instrumental. فعلى سبيل المثال، قدَّم ‹كيم› النغم الافتتاحي لقصيدة أوركسترا ‹بدريش

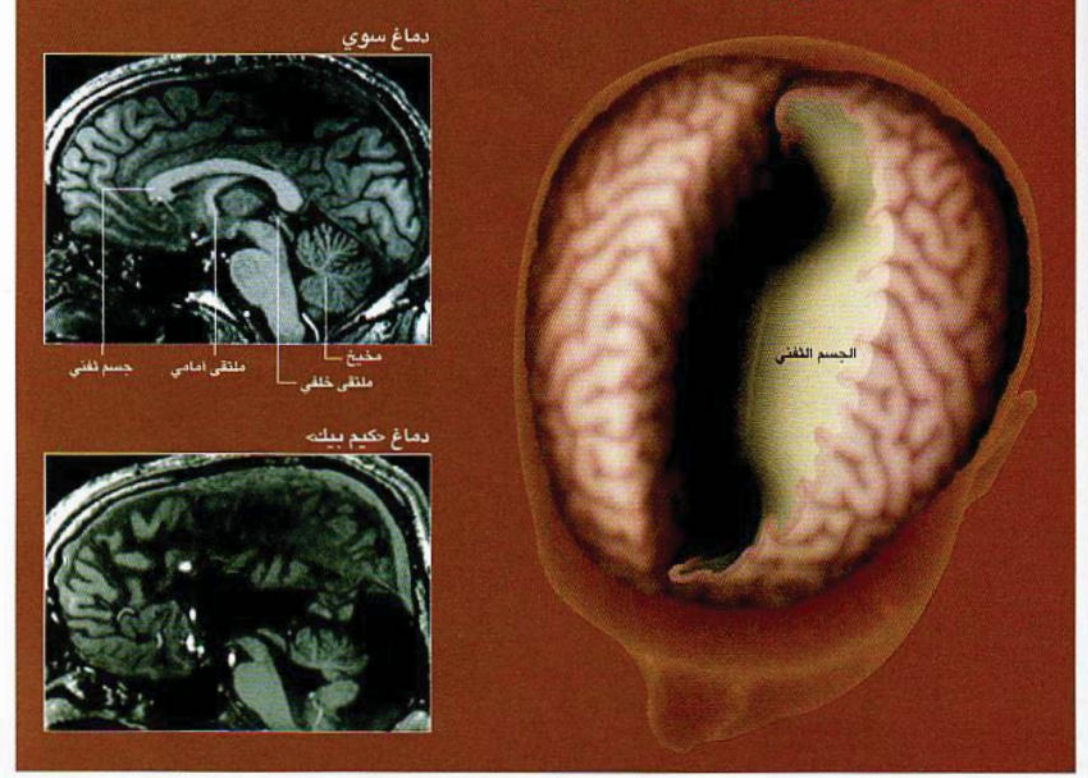
(*) Memory and Music

(1) Intellegence Quotient نسبة الذكاء.

(2) الطبيب (J. L. Down) أول من وصف أعراض المتلازمة المسماة باسمه [انظر: أسباب متلازمة «داون»، **العلوم**، العدد 4 (1988)، ص 37]. (التحرير)

هل هو اتصال مفقود؟[*]

يختلف دماغ ‹كيم› *(الصورة اليسرى في الأسفل)* عن الأدمغة النمطية *(المخطط والصورة اليسرى في الأعلى)* في عدة نواح. [تصوِّر المسوح أدناه مقاطع عرضية من الأمام إلى الخلف جرى إعدادها باستخدام التصوير الرنيني (التجاوبي) المغنطيسي]. ويلاحظ أن دماغ ‹كيم› ورأسه كبيران، كل منهما في المئيني[1] الـ99. وأكثر ما يلفت النظر هو الغياب الكامل للجسم الثفني الذي يربط في العادة النصفين المخيين الأيمن والأيسر أحدهما بالآخر. كما يغيب الملتقيان commissures الأمامي والخلفي اللذان يربطان أيضا بين النصفين المخيين ذاتهما. أما المخيخ المسؤول عن وظائف حركية معينة فهو لدى ‹كيم› أصغر من المعتاد، إضافة إلى كونه مشوَّها ويشغل سائل معظم الحيِّز المحيط به، الأمر الذي يفسِّر بعض صعوبات ‹كيم› في التنسيق الحركي. فموضوع البحث والحالة هذه يتعلق بدور هذه الشذوذات في قدراته العقلية.



سامانثا› التي تحمل اسم ‹مولداو› The Moldau عبر تخفيض أدوار **الناي** flute و**المزمار** clarinet على نحو متصاعد الإيقاع بيده اليسرى وإظهار أن الشبّابات والمزامير تتداخل مع اللازمة الرئيسية التي خفَّضها بعدئذ إلى **طبقات** pitches يتم عزفها على نحو منفرد في ثلاثيات باستخدام يده اليمنى. هذا ويتبيَّن استيعابه للأساليب الموسيقية في مقدرته على تحديد أسماء ملحِّني قطع موسيقية لم يسبق له سماعها سابقا وذلك عن طريق تخمين الفن الموسيقي للقطعة واستنباط هوية الملحِّن الممكن.

ومع أن ‹كيم› مازال أخرق من الناحية البدنية، فإن إتقانه اليدوي في تحسُّن مستمر. فحينما يجلس إلى البيانو، يمكنه عزف القطعة التي يرغب في تناولها، فيغني المقطوعة ذات الشأن أو يصف الموسيقى لفظيا ويتحول انسيابيا من صيغة إلى أخرى. إنه ينتبه إلى الإيقاع ويدق بخفَّة على صدره بيده اليمنى أو يدق الأرض برتابة بقدمه اليمنى أثناء العزف.

تسجِّل ‹كرينان› (تلميذة موسيقى ‹موزارت›) الملاحظات التالية بقولها: «إن إلمام ‹كيم› بالموسيقى كبير. وتعد مقدرته على تذكُّر أي تفاصيل تخص قصيدةً ما كان قد سمعها (ولو لمرة واحدة فيما ينوف على أربعين سنة خلت) أمرا مذهلا. أما الترابطات التي يقيمها بين **الحبكات** weaves عبر القصائد، وكذلك سير حياة الملحِّنين، والحوادث التاريخية، والمرافقات الصوتية للأفلام السينمائية، وآلاف الحقائق التي تختزنها قاعدة بياناته، فإنها تكشف عن مقدرة عقلية هائلة.» ويصل الأمر بالباحثة ‹كرينان› أن تقارن بينه وبين ‹موزارت› الذي كان يمتلك رأسا كبير الحجم كذلك، وشغفه بالأعداد وبمهارات اجتماعية متفاوتة. وليس عجبا، حسب ‹كرينان›، أن يكون باستطاعة ‹كيم› أن يتعلم حتى التلحين.

(*) A Missing Connection?

(1) percentile مُئيني.

التتمة في الصفحة 72

مقابلٌ صوتي للثقوب السوداء(*)

تسلك الموجات الصوتية المنتشرة في مائع سلوكَ الموجات الضوئية المنتشرة في الفضاء. وحتى الثقوب السوداء لها ما يقابلها صوتيا. أفلا يمكن للزمكان(1) space-time أن يكون نوعا خاصا من الموائع مثل الأثير في فيزياء ما قبل آينشتاين؟

<T. A. جاكوبسون> - <R. بارينتاني>

عندما اقترح <A. آينشتاين> نظرية النسبية الخاصة عام 1905، ألقى جانبا بالفكرة التي كانت سائدة في القرن التاسع عشر والقائلة بأن الضوء ناجم عن اهتزازات في وسط افتراضي يسمَّى الأثير. وبدلا من ذلك، قدَّم <آينشتاين> الدليل على أن الموجات الضوئية يمكن أن تنتقل في الفراغ دون حاجة إلى وجود أي مادة - على خلاف الموجات الصوتية التي تنجم عن اهتزازات في الوسط المادي الذي تنتشر فيه. وهذا الجانب من النسبية الخاصة لم يمسَّ في الركنين الآخرين للفيزياء الحديثة، النسبية العامة والميكانيك الكمومي، ويمكن بنجاح تفسير جميع البيانات التجريبية التي لدينا حتى الآن، والتي تغطِّي مجالا واسعا من المقاييس يمتدّ من المقاييس ما دون النووية إلى المقاييس الفلكية، وذلك من خلال النظريات الثلاث هذه (النسبية الخاصة والعامة والميكانيك الكمومي).

ومع ذلك، يواجه الفيزيائيون مسألة مفاهيمية عميقة. إن نظريتي النسبية العامة والميكانيك الكمومي، كما نفهمهما اليوم، لا تنسجم إحداهما مع الأخرى. وباءت بالفشل جميع محاولات العلماء لدمج **الثقالة** gravity التي تعزوها النسبية العامة إلى **انحناء**(2) curvature الزمكان، ضمن الإطار الكمومي. وقد حقَّق النظريون تقدّما ضئيلا في فهم بنية الزمكان الشديدة الانحناء التي يتنبأ بها الميكانيك الكمومي عند مسافات متناهية في الصغر. وقادهم ما انتابهم من شعور بالإحباط إلى التماس الإرشاد في مجال غير متوقّع: إنه مجال فيزياء المادة الكثيفة التي تدرس خواصّ المواد العادية مثل البلورات والموائع.

من بُعد، تبدو المادة الكثيفة مستمرّة مثل الزمكان عندما ينظر إليه في المقاييس الكبيرة، ولكنها على خلاف الأخير لها بنية مجهرية يتحكّم فيها الميكانيك الكمومي ونفهمها بشكل جيّد. إضافة إلى ذلك وإلى حد كبير، يماثل انتشار الصوت في مائع هائج انتشارَ الضوء في زمكان منحن. وما نحاوله وزملاؤنا، عبر استخدامنا للموجات الصوتية لدراسة نموذج للثقوب السوداء، هو استغلال هذا التماثل من أجل اكتساب بصيرة خلاّقة وفهمٍ أعمق لكيفية عمل بنية الزمكان الميكروية. ويوحي عملنا بأن بنية الزمكان، حاله في ذلك حال مائع مادّي، قد تكون حبيبية وذات إطار مرجعي(3) مفضل يظهر نفسه عند المقاييس الصغيرة، وذلك على خلاف فرضيات <آينشتاين>.

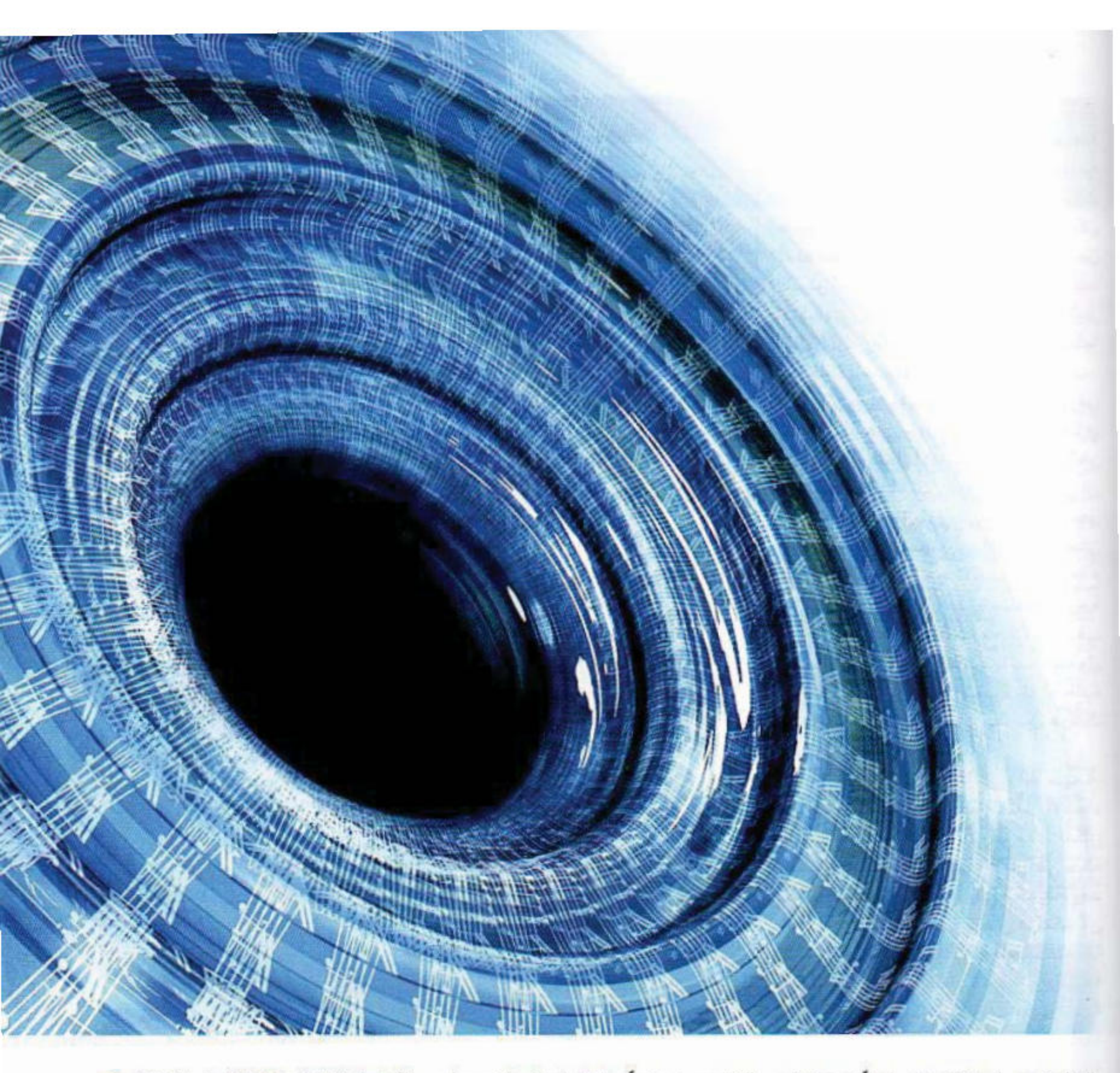
من الثقب الأسود إلى الجمرة الساخنة(***)

تعتبر الثقوب السوداء حقلَ تجاربَ ممتازا لاختبار نظريات الثقالة الكمومية، لأنها تمثِّل أحد الأمكنة النادرة التي نحتاج فيها إلى استخدام كلتا نظريتي الميكانيك الكمومي والنسبية العامة لفهم كيفية عملها. وقد تحقّقت خطوة كبيرة نحو توحيد

نظرة إجمالية/ الثقوب السوداء الصوتية(**)

- قدّم الفيزيائي الشهير <S. هوكنك> عام 1970 الدليل على أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً، لأنها تُصدر وهجا كموميا لإشعاع حراري. ولكن هناك مشكلة في تحليل هوكنك تتلخّص في أن الموجات التي تبدأ عند أفق الثقب الأسود سوف تمتطّ وفقا للنظرية النسبية، وسوف يزيد طولها بمقدار لامتناه في الكبر عندما تنتشر بعيدا عن الثقب. لذلك، يجب أن يصدر إشعاع هوكنك من منطقة غاية في الصغر، حيث تهيمن ظواهر الثقالة الكمومية.
- حاول الفيزيائيون الإلمام بكنه هذه المسألة عبر دراستهم نماذجَ لمنظوماتِ موائع شبيهة بالثقوب السوداء. تمنع البنية الجزيئية للمائع الامتطاط اللامتناهي وتستعيض عن الغرائب الميكروية للزمكان بفيزياء معروفة.
- تؤيِّد النماذج المشابهة هذه استنتاج هوكنك وتدفع بعض الباحثين إلى اقتراح فكرة أن للزمكان بنية «جزيئية»، وذلك خلافا لفرضيات النظرية النسبية المتعارفة.

(*) AN ECHO OF BLACK HOLES
(**) Overview/Acoustic Black Holes
(***) From Black Hole to Hot Coal
(1) نحت من زمان-مكان.
(2) أو تقوس.
(3) frame of reference



النظريتين عـام 1974 عندمـا طبّق «هوكنك» [من جامعة كمبردج] الميكانيك الكمومي على دراسة أفق حدث[1] الثقب الأسود.

ووفـقـا للنسبيـة العـامة، يمثّل أفق حدث الثـقب الأسـود السطح الفـاصل بين داخل الثقب (حيث الثقالة كبيرة جدا بحيث لا يستطيع أي شيء الإفلات منها) وخارجه. وهذا الفـاصل ليس مـاديا، فـالمسـافـرون السيِّئو الحظّ لن يشعروا بأي شيء خاص عند اجتيازهم هذا الفاصل أثناء سقوطهم نحو الثقب الأسود، ولكنهم إذا فعلوا ذلك فلن يكونوا قـادرين على إرسـال إشـارات صوتية إلى أناس خـارج الثقب، فكيف إذًا بالانتقال والعودة للخارج. وسيقتصر المراقب الخارجي في تسلّمه إشارات المسافرين على تلك التي أرسلوها قبل اجتيازهم للأفق، إذ إن الموجات الضوئية عند تسلّقها لبئر الثقالة المحيطة بالثقب الأسود تمتطّ فينقص تواترها ويزيد دورها. ونتيجة لذلك، سيبدو المسافر بالنسبة إلى المراقب متحرّكا حركة بطيئة وأكثر احمرارا من العادة.

يُعرف هذا الأثر بالانزياح التثاقلي نحو الأحمر[2]، وهو ليس خاصية مميّزة للثقوب السوداء وحدها. فمثلا، يسبّب هذا الأثر أيضـا تغيّـر التـواتر والزمن الفـاصل بين الإشـارات الصـادرة عن الأقمـار الصنعيـة الدائرة حول الأرض وعن محطّاتها الأرضية، وعلى منظومـات تحـديد المواقع على الكرة الأرضية GPS أن تأخذ ذلك في الاعتبار عند تحديد دقيق لموقع ما. مع ذلك، ما هو مميّز للثقـوب السـوداء هو أن هذا الانزياح نحـو الأحمر يبلغ قيما لامتناهية في الكبر عندما يقترب المسافر من أفق الثقب الأسود. ومن وجـهـة نظر المراقب، يبـدو الهـبـوط وكـأنه يستغرق زمنا لامتناهيا في الكبر، مع أن هذا الهبوط نفسه يستغرق وقتا محدودا بالنسبة إلى المسافر نفسه.

وحتى الآن، تمّت معـالجتنا للضوء في وصفنا للثقوب السوداء على أساس اعتباره موجة كهرمغنطيسية تقليدية. وما فعله «هوكنك» هو إعادة تحليل مقتضيات القيمة

(1) the event horizon
(2) gravitional redshift

اللامتناهية في الكبر للانزياح نحو الأحمر عند اعتبار الطبيعة الكمومية للضوء. ووفقا للنظرية الكمومية، فإن الخلاءَ المثاليَّ نفسَه غيرُ فارغ تماما بل يعجّ بهيجانات وتراوحات ناجمة عن مبدأ الارتياب لهايزنبرك. ويمكن لهذه التموّجات أن تتجسّد بشكل أزواج من الفوتونات الافتراضية والتي ندعوها كذلك، لأنها في زمكان منحن بعيدا عن أيّ تأثير ثقالي، تولد وتفنى بشكل مستمرّ ممّا يجعلها غير قابلة للملاحظة عند غياب أيّ اضطراب.

ولكن يمكن لفرد من زوج افتراضي، في الزمكان المنحني حول ثقب أسود، أن يجري حجزه فيلج داخل الأفق في حين يبقى الآخر خارجه. وعندها يمكن للزوج الافتراضي أن يصبح حقيقيا ما يؤدي إلى تدفّق ضوءٍ نحو الخارج يمكن ملاحظته، ويرافق ذلك نقصان في كتلة الثقب. والنمط الإجمالي للإشعاع هو حراري، مثل حال جمرة ساخنة، بدرجة حرارة متناسبة عكسا مع كتلة الثقب الأسود. تُعرف هذه الظاهرة باسم مفعول هوكنك[1]. وما لم يبتلع الثقب كتلة أو طاقة لتعويض ما يفقده، فإن مفعول هوكنك سيجعله يستنفد كامل كتلته.

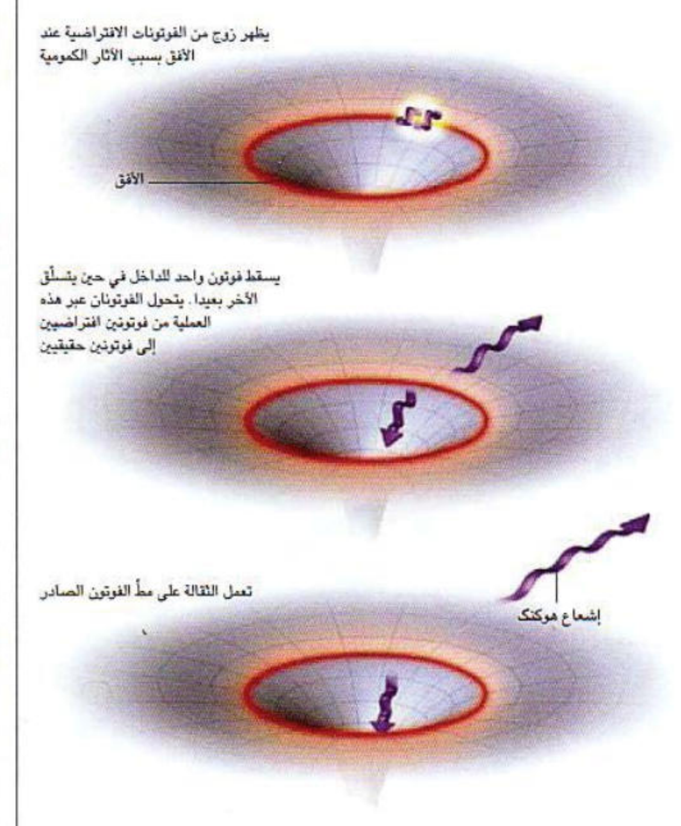
ولا بدّ من الإشارة هنا إلى نقطة مهمة، ستصبح حاسمة لاحقا عند اعتبار الأشباه المائعة للثقوب السوداء، وهي بقاء المكان المجاور تماما لأفق الثقب الأسود في حالة خلاء كمومي تامّ تقريبا. وفي الحقيقة، يُعدّ هذا الشرط أساسيا في برهان هوكنك، لأن الفوتونات الافتراضية خاصية للحالة الكمومية ذات الطاقة الأخفض، أو «الحالة الأساسية»[2]. ويمكن للفوتونات الافتراضية أن تصبح حقيقية ولكن فقط عند انفصالها عن شركائها في الأزواج الافتراضية وتسلّقها حقلَ الثقالة بعيدا عن الأفق.

المجهر النهائي(**)

أدى تحليل هوكنك دورا مركزيا في محاولة بناء نظرية كمومية للثقالة. وتُعتبر القدرة على إعادة استنتاج مفعول هوكنك وإيضاحه اختبارا حاسما لأي نظرية مرشّحة لأن تكون نظريةً ثقالةٍ كمومية، مثل نظرية الأوتار[3]. ومع أن معظمَ الفيزيائيين

هل كان هوكنك على خطأ؟(*)

يتعلّق واحد من أهمّ أسرار الثقوب السوداء، وأقلها اعترافا به، بتخمين هوكينك المشهور حول إمكان إصدار الثقب الأسود لإشعاع. يُحدّد الثقب الأسود بأفق حدث يمكن اعتباره بوّابة في اتّجاه واحد، حيث يمكن للأجسام خارجه أن تسقط إلى داخله، في حين لا يمكن خروج الأجسام من داخله. وقد تساءل هوكنك عمّا سيحدث لزوج من الجسيمات الافتراضية (التي تظهر وتختفي باستمرار في كل مكان من الفضاء الخالي بسبب الآثار الكمومية) نشأ عند الأفق نفسه.



تتنبّأ النظرية النسبية بأن الفوتون الصادر عن الأفق سوف يمتطّ بمقدار لامتناه في الكبر (الخط الأحمر في الأسفل). وبعبارة أخرى، لا بدّ لفوتون تتمّ ملاحظته أن يكون قد نشأ كفوتون افتراضي بطول موجيّ معدوم تقريبا. ويُعتبر هذا الأمر مسألة مقلقة لأن الآثار الكمومية غير المعروفة تصبح هي المهيمنة عند مسافات أقصر ممّا يُدعى بطول پلانك 10^{-35} متر. وقد دفع هذا اللغز الفيزيائيين إلى تخيّل نماذج مشابهة للثقوب السوداء، قابلة للتحقيق تجريبيا، وذلك من أجل اختبار إمكانية إصدارها لإشعاع، وفهم كيفية نشوئه في حال صدوره.



(*) Was Hawking Wrong?
(**) The Ultimate Microscope
(1) Hawking effect
(2) ground state
(3) string theory [انظر: "The Illusion of Gravity," by Juan Maldacena; *Scientific American*, November 2005].

الضوء مقابل الصوت(*)

نوع الموجة	الوصف المعهود	الوصف الكمومي	السرعة	سبب انحناء مسار الموجة	اين تتوقّف صحة الوصف؟
ضوء	حقول كهربائية ومغنطيسية مهتزّة	فوتون موجة كهرمغنطيسية	300 000 كم/ثا	انحناء (تقوس) الزمكان الناجم عن وجود المادة والطاقة	طول پلانك؟ (10^{-35} متر)
صوت	حركة جماعية للجزيئات	فونون موجة صوتية	1500م/ثا (في الماء السائل)	اختلافات في سرعة المائع واتّجاه حركته	المسافة الفاصلة بين الجزيئات (10^{-10} متر من أجل الماء)

يقبلون بحجج «هوكنگ» فإنهم لم يستطيعوا قطّ التأكّد منها تجريبيا، لأن ما يتنبّأ به من إصدار ضوئي عن الثقوب السوداء المجرّية والنجمية أصغر بكثير ممّا نتمكّن الآن من تحسّسه. والأمل الوحيد في ملاحظة إشعاع هوكنگ يكمن في أن نجدَ ثقوبا سوداء صغيرة من بقايا الكون الموغل في القدم أو أنها كُوِّنت في المسرِّعات الجسيمية، وهذا احتمال قد يكون معدوما [انظر: «الثقوب السوداء الكمومية»، العلوم، العددان 6/5 (2005)، ص 48].

ويُعدّ افتقارنا إلى تأكيد تجريبي عن مفعول هوكنگ أمرا مُقلقا لا سيما إذا تذكّرنا الحقيقةَ المزعجة عن وجود عيوب في بناء النظرية نفسها ناجمة عن تنبئها بقيمة لامتناهية في الكبر لانزياح الفوتون نحو الأحمر. لنعتبر عملية الإصدار وكيف تبدو عندما ننظر إليها وقد عدنا بالزمان إلى الوراء (أي عندما نتطلّع إلى تطوّرها الزمني بالرجوع عبر الزمن حتى لحظة بدايتها). عندما يقترب الفوتون من الثقب فإنه يصبح أكثر ازرقاقا، أي يزيد تواتره وينقص طوله الموجي. وكلّما رجعنا أكثر إلى الوراء في الزمن اقتربَ الفوتون أكثر من الأفق، ومن ثم قَصُر طوله الموجي. وعندما يصبح الطول الموجي أصغر بكثير من الثقب الأسود ينضم الجسيم الفوتوني إلى شريكه مكونا الزوج الافتراضي الذي ناقشناه مسبقا.

يستمرّ الانزياح نحو الأزرق دون توقّف ويمكن بلوغ مسافات صغيرة كيفية(1). وعندما تصبح المسافة أصغر من 10^{-35} متر، أو ما يُعرف باسم طول پلانك، عندها لا يمكن للنظرية النسبية ولا للميكانيك الكمومي أن يتنبأ بسلوك الجسيم، ولا بدّ لنا هنا من استدعاء نظرية كمومية للثقالة. لذلك، يُعدّ أفق الثقب الأسود مجهرا رائعا بامتياز يسمح للمراقب أن يكون على تماسّ مع ظواهر فيزيائية غير معروفة. وبالنسبة إلى الفيزيائي النظري، تُعتبر إمكانية التضخيم هذه مقلقة، إذ لو كان تنبّؤ هوكنگ قائما على فيزياء غير معروفة، أفلا يحقّ لنا الشكّ في صلاحيته؟ ألا يمكن لخصائص إشعاع هوكنگ، بل حتى وجوده، أن تعتمد على خصائص الزمكان الميكروية، تماما كما تعتمد، مثلاً، السعةُ الحرارية لمادة ما أو سرعةُ الصوت فيها على بنيتها الميكروية وديناميكيتها؟ أم أن هذا الأثر يتحدّد تماما، كما حاجّ «هوكنگ» في بداية الأمر، من خلال الخصائص الماكروية للثقب الأسود، وعلى وجه الخصوص كتلته وسپينه spin؟

لسعات صوتية(**)

بدأت إحدى المحاولات للإجابة عن هذه الأسئلة مع عمل «W. أونره» [من جامعة بريتش كولومبيا]. فقد بيّن «أونره» عام 1981 أن هناك تشابها كبيرا بين انتشار الصوت في سائل متحرّك وبين انتشار الضوء في زمكان منحن. واقترح أن هذا التشابه قد يفيد في تخمين أثر الفيزياء الميكروية في إشعاع هوكنگ. إضافة إلى ذلك، يمكن لهذا التشابه أن يسمح حتى بإمكانية الملاحظة التجريبية لظاهرة متضمّنة لإشعاع هوكنگ.

تتميّز الموجات الصوتية، مثلها في ذلك مثل الموجات الضوئية، بتواترها وطولها الموجي وسرعة انتشارها. وإن مفهوم الموجة الصوتية صالح فقط من أجل أطوال موجة أكبر بكثير من المسافة بين الجزيئات في السائل، إذ تتوقّف الموجات الصوتية عن الوجود عند المسافات الأقصر. إن هذا

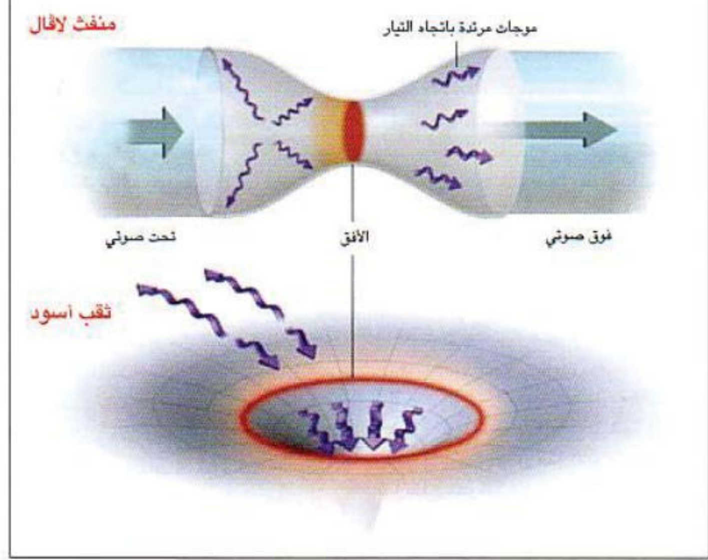


تسلك التموّجات في مجرى مائي سلوكا مماثلا إلى حد كبير لسلوك الموجات الضوئية في الزمكان. إن الجريان حول الصخرة ليس منتظما ممّا يسبّب انحناء التموّجات وتغيّر طولها الموجي. ويحدث الأمر نفسه بالنسبة إلى ضوء يمرّ عبر الحقل التثاقلي لكوكب أو نجم. وفي بعض الحالات، يكون الجريان سريعا جدا لدرجة أن التموّجات لا تستطيع الانتشار باتجاه معاكس لاتجاه الجريان تماما كالضوء، لا يمكنه الإفلات من الثقب الأسود للانتشار خارجه.

(*) Light Vs. Sound
(**) Sound Bites
(1) arbitrary

نموذج مشابه لثقب أسود(*)

يمثّل **منفث لافال** Laval nozzle، الذي يوجد في مؤخرة الصواريخ، نموذجا جاهزا مشابها لثقب أسود. يدخل المائع بسرعة **تحت صوتية** subsonic، ويجبره العائق التضيّقي على التسارع ليبلغ سرعة الصوت بحيث يخرج هذا المائع بسرعة فوق صوتية. ويمكن للموجات الصوتية في المنطقة تحت الصوتية أن تتحرك ضد التيّار، في حين لا تستطيع ذلك في المنطقة فوق الصوتية. فالتضيّقُ إذًا يسلك سلوكَ أفقِ ثقب أسود، ومن ثم يمكن للصوت الولوج إلى المنطقة فوق الصوتية ولكنه لا يستطيع الخروج منها. وتولّد التراوحات والتموّجات الكمومية عند التضيّق مشابهات صوتية لإشعاع هوكنك.



التقييد هو ما يجعل النموذج التشابهي مهما لدرجة كبيرة، لأنه يسمح للفيزيائيين بدراسة ما ينجم ماكرويا عن البنية الميكروية. ومع ذلك، ولكي يكون التشابهُ مفيدا فعلا، عليه أن يكون صالحا على المستوى الكمومي كذلك. وبشكل عام، تمنع الاهتزازات الحرارية للجزيئات الموجاتِ الصوتية من أن تسلك سلوكَ **كموم** quanta الضوء، ولكن عندما تقترب درجة الحرارة من الصفر المطلق يمكن للصوت أن يسلك سلوكَ جسيمات كمومية يدعوها الفيزيائيون باسم «الفونونات» تأكيدا لتشابهها مع جسيمات الضوء «الفوتونات». ويلاحظ الفيزيائيون التجريبيون الفونونات مرارا في البلّورات وفي المواد التي تبقى مائعة في درجات الحرارة المنخفضة مثل الهليوم السائل.

يشبه سلوك الفونونات في مائع ساكن أو متحرك بحركة منتظمة سلوكَ الفوتونات في زمكان مستو حيث الثقالة غائبة. وتنتشر مثل هذه الفونونات في خطوط مستقيمة محافظة على قيم طولها الموجي وتواترها وسرعتها. ينتشر الصوت، مثلا في بركة سباحة ساكنة أو في نهر يجري بهدوء، بشكل مستقيم من منبعه إلى الأذن.

ومع ذلك، تتغيّر سرعة الفونونات في سائل يتحرك بشكل غير منتظم، وقد تمتطّ أطوالها الموجية تماما كحال الفوتونات في زمكان منحن. ويتشوّه الصوت المنتشر عبر نهر عند ملاقاته واديا ضيقا أو عند ملاقاته لما يدور حول فتحة التصريف، فيسلك مسارا منحنيا مثل مسار الضوء المارّ بالقرب من نجم. وفي الحقيقة، يمكن توصيف هذه الظاهرة الصوتية باستخدام الأدوات الرياضياتية الهندسية للنسبية العامة.

ويمكن لجريان مائع أن يؤثّر في الصوت كما يؤثّر الثقب الأسود في الضوء، وهناك طريقة لتكوين مثل هذا الثقب الأسود الصوتي وهي استخدام جهاز يدعوه المهندسون المائيون باسم منفث لافال[1]. وقد صمم هذا المنفث بحيث تصل سرعة المائع في نقطة التضيّق الأشدّ سرعةَ الصوت في المائع وتتجاوزها من دون أن تكوّن موجة صدم[2] (وهي التي تكافئ وجود تغيّر مفاجئ في خصائص السائل). تماثل الهندسة الإجمالية للمسألة الصوتية هذه هندسةَ الزمكان لثقب أسود، إذ توافق المنطقةُ فوق الصوتية المنطقةَ داخل الثقب حيث يتمّ ابتلاع الموجات الصوتية المنتشرة بعكس جهة الجريان لتنجرّ مع التيّار مثل انجرار الضوء نحو مركز الثقب الأسود. أمّا المنطقة دون الصوتية فهي توافق المنطقةَ خارج الثقب حيث يمكن للموجات الصوتية أن تنتشر ضد التيّار ولكن على حساب تمطّطها وزيادة طولها، مثلما يحدث للضوء عند الانزياح نحو الأحمر. أما الحدّ الفاصل بين هاتين المنطقتين فيسلك سلوكَ أفق الثقب الأسود تماما.

المذهب الذرّي(**)

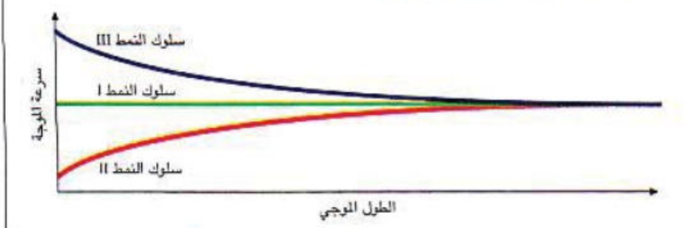
إذا كان المائع باردا بشكل كاف فيبقى التشابه قائما حتى على المستوى الكمومي. وقد قدّم «أونره» حججا على أن الأفق الصوتي يصدر فونونات حرارية مماثلة لإشعاع هوكنك. تسبّب التراوحات والتموّجات الكمومية قرب الأفق ظهور أزواج من الفونونات، ويُجرف أحد الشريكين في زوج ما إلى المنطقة فوق الصوتية، ولن يستطيع الخروج منها أبدا، بينما يكمل الشريك الآخر اهتزازاته وينتشر ضدّ التيّار متمطّطا أثناء ذلك بفعل تدفّق المائع. ولو وضعنا ميكرفونا في أعلى النهر لالتقط هسهسة ضعيفة، تأتي طاقتها الصوتية من الطاقة الحركية للمائع المتدفّق.

تعتمد النغمة المهيمنة للضجة التي نسمعها على هندسة المسألة؛ وتكون القيمة النموذجية للطول الموجي للفونونات الملاحَظة من مرتبة المسافة التي تتغيّر خلالها سرعة المائع بشكل محسوس. تفوق هذه المسافة إلى حد كبير المسافةَ الفاصلةَ بين الجزيئات ممّا سمح لـ«أونره» في عمله الأصلي اعتبارَ المائع كلّه أملس ومتّصلا. ومع ذلك، تتكوّن الفونونات قرب الأفق بأطوال موجية قصيرة جدا لدرجة أنها لا بدّ أن تتحسّس الطبيعة الحبيبيةَ للمائع. هل يؤثّر هذا الاعتبار في النتيجة النهائية؟ هل يمكن لمائع حقيقي إصدار فونونات على طريقة هوكنك، أم أن توقّع «أونره» نتاج صنعي ناجم عن اعتبارنا

Black Hole Analogue (*)
Atomism (**)
Laval nozzle (1)
shock wave (2)

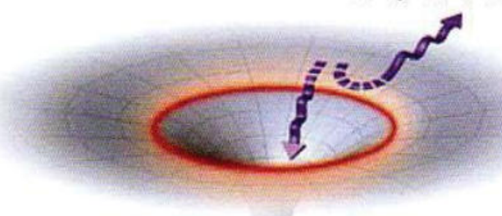
لقد كان هوكنك على حقّ، ولكن ...[*]

توحي لنا النماذج المائعة المشابهة للثقوب السوداء، بطريقة لتصحيح الخلل في تحليل هوكنك. في مائع مثالي، تكون سرعة الصوت ثابتة مهما يكن الطول الموجي (وهذا يسمى سلوك النمط I). وفي مائع حقيقي، تتناقص سرعة انتشار الصوت (النمط II) أو تتزايد (النمط III) مع تناقص الطول الموجي واقترابه من قيمة المسافة الفاصلة بين الجزيئات.

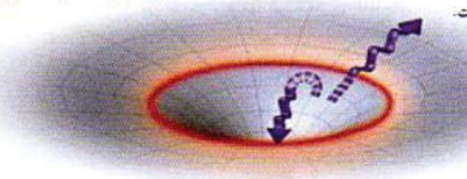


يرتكز تحليل هوكنك على النظرية النسبية المعهودة، حيث يسير الضوء بسرعة ثابتة (سلوك النمط I). وإذا تغيّرت سرعة الضوء، مع تغيّر الطول الموجي، كما في النماذج المائعة المشابهة، فقد تتغير مسارات فوتونات هوكنك.

من أجل النمط II، تُخلق الفوتونات خارج الأفق وتسقط للداخل. واحدٌ منها سيعاني تغيّرا في سرعته ثم يعكس اتّجاهه وينطلق خارجا.



من أجل النمط III، تنشأ الفوتونات داخل الأفق. يتسارع أحدها متجاوزا سرعة الضوء الاعتيادية ممّا يسمح له بالإفلات.



لما كانت الفوتونات لا تنشأ عند الأفق بالضبط، فإنها لن تتعرض لانزياح لانهائي نحو الأحمر. ولهذا التصحيح لتحليل هوكنك ثمن وهو وجوب إدخال تعديلات على النظرية النسبية. فخلافا لفرضيات <اينشتاين>، يجب على الزمكان أن يسلك سلوك مائع مكوّن من «جزيئات» من طبيعة غير معروفة.

معالجتهم هذه المسألة دراسةً إمكانية تحقيق تقدّم رياضياتي.

يُعدّ فهم كيفية تأثير البنية الجزيئية للمائع في الفونونات بالغ التعقيد. ولحسن الحظ، وبعد عشر سنوات من اقتراح <أونره> لنموذجه المشابه الصوتي، أتى أحدنا (جاكوبسون) بفكرة مبسطة مفيدة جداً. يمكن تضمين مجمل التفاصيل الأساسية للبنية الجزيئية في الطريقة التي يعتمد بها تواتر الموجة الصوتية على طولها الموجي. وعلاقة الاعتماد هذه تسمى علاقة التشتّت[1]، وهي تحدّد سرعة انتشار الموجة. وهذه السرعة ثابتة من أجل أطوال موجية كبيرة، بينما يمكن لها أن تتغيّر مع طول الموجة عندما يصبح هذا الأخير صغيرا من مرتبة المسافة الفاصلة بين الجزيئات.

يمكن ظهور ثلاثة أنماط سلوكية مختلفة لعلاقات التشتّت. لا يتضمّن النمط I أيّ تشتّت، أي إن الموجات ذات الأطوال الموجية القصيرة تسلك سلوكَ الموجات الطويلة نفسه. أمّا في النمط II فإن سرعة الانتشار تنقص عندما يصغر الطول الموجي، في حين تزداد هذه السرعة في النمط III بنقصان الطول الموجي. يصف النمط I الفوتونات في النظرية النسبية، في حين يصف النمط II الفونونات في الهليوم الفائق الميوعة مثلاً، أمّا النمط III فيصف الفونونات في متكثّفات «بوز-أينشتاين» المخففة. يُعتبر هذا التصنيف إلى ثلاثة أنماط مبدأ تنظيميا يسمح بمعرفة كيفية تأثير البنية الجزيئية في الصوت ماكرويا. ومنذ بداية عام 1995، قام <أونره> وباحثون آخرون بدراسة مفعول هوكنك بوجود علاقة تشتّت من النمط II أو النمط III.

لنرَ كيف تبدو الفونونات، على طريقة هوكنك، وذلك عندما ننظر إليها كما كانت في ماضي الزمن. في البداية، لا يؤثّر نمط علاقة التشتّت في سلوك الفونونات، فتسبح هذه باتجاه التيّار نحو الأفق وطولها الموجي يتناقص أثناء ذلك. ويصبح نمط علاقة التشتّت مهمًا عندما يقترب الطول الموجي منْ مرتبة المسافة الفاصلة بين الجزيئات. في النمط II، تبدأ الفونونات بالتباطؤ ثم تعكس جهة سيرها وتبدأ بالجريان ضدّ التيار، أمّا في النمط III، فإنها تتسارع لتبلغ سرعة أكبر من سرعة انتشار الصوت الموافقة للأطوال الموجية الكبيرة ثمّ تجتاز الأفق.

عودة إلى الأثير[**]

إن مشابها حقيقيا لمفعول <هوكنك> يجب أن يحقّق شرطا مهمًا، وهو ضرورة أن تبدأ الأزواج الافتراضية للفونونات حياتَها في الحالة الأساسية، كما هي الحال بالنسبة إلى أزواج الفوتونات الافتراضية حول الثقب الأسود. ويمكن تحقيق مثل هذا الشرط بسهولة في مائع حقيقي. وطالما كان تغير تدفّقُ المائع الماكروي بطيئا في الزمان وفي المكان (مقارنة بمعدّل تواتر الأحداث على المستوى الجزيئي)، فإن الحالة الجزيئية للمائع تتعدّل باستمرار من أجل تخفيض

(*) Hawking Was Right, But ...
(**) Ether Redux
(1) dispersion relation

طاقة المنظومة ككل. وليس مهما هنا طبيعة جزيئات المائع المكونة له.

يمكن البرهان على أنه عند تحقيق هذا الشرط فإن المائع سيصدر إشعاعًا على طريقة هوكنگ بصرف النظر عن أيّ نوع من علاقات التشتّت الثلاث التي يخضع لها المائع. ولن يكون هنا للتفاصيل الميكروية للمائع أيّ أثر في هذه النتيجة، إذ إن أهميتها تزول تماما عند انطلاق الفونونات بعيدا عن الأفق. إضافة إلى ذلك، فإن الأطوال الموجية الكيفية القصيرة التي يستدعيها تحليل هوكنگ في عمله الأصلي، لا تظهر عندما تكون علاقة التشتّت من أحد النمطين II أو III. وبدلا من ذلك، فإن الأطوال الموجية تتناقص إلى حدودها الدنيا عند المسافة الفاصلة بين الجزيئات. وليس الانزياح نحو الأحمر اللامتناهي إلاّ تجسيدا خاطئا للفرضية غير الفيزيائية عن الذرات المتناهية في الصغر.

وعند تطبيقه على ثقوب سوداء حقيقية، فإن التشابه المائع يضفي ثقة بأن نتيجة «هوكنگ» صحيحة على الرغم من الفرضيات التبسيطية التي أخذ بها. إضافة إلى ذلك، يوحي هذا التشابه لبعض الباحثين بأنه يمكن تجنّب الانزياح اللامتناهي نحو الأحمر عند أفق ثقب أسود تثقالي[1] وذلك بتشتيت أطوال موجية قصيرة للضوء، مثلما يحدث في حالة المائع. إلا أن هناك شركا مخبّأ هنا. فالنظرية النسبية تؤكد بصورة قاطعة أن الضوء لا يعاني أيّ تشتّت في الفراغ. والطول الموجي للفوتون يبدو مختلفا بالنسبة إلى مراقبين مختلفين: فهو لامتناه في الكبر عندما يُرى من جملة مرجعية متحرّكة بسرعة قريبة جدا من سرعة الضوء. لذلك، لا يمكن لقوانين الفيزياء أن تحدّد لنا حدًا ثابتا للطول الموجي القصير، الذي يتغيّر عنده نوعُ علاقة التشتّت من النمط I إلى النمط II أو III. فلكلّ مراقبٍ قيمة خاصة به لذلك الحدّ.

إذًا يواجه الفيزيائيون معضلة، فإمّا أن يحافظوا على ما حتّم عليه «أينشتاين» وهو عدم وجود جملة مرجعية مميّزة، ويقبلوا في الوقت نفسه بحقيقة الانزياح اللامتناهي نحو الأحمر، أو أن يفترضوا أن الفوتونات لا تعاني انزياحا لامتناهيا نحو الأحمر، وعليهم في هذه الحالة أن يقبلوا بوجود جملة مرجعية للمراقبة مميّزة. هل ستنتهك جملة مرجعية كهذه مبدأ النسبية؟ لا أحد يعرف إلى الآن الإجابة عن هذا السؤال. قد يكون من الممكن أن ننظر إلى هذا المرجع[1] المفضّل كتأثير محلي يظهر فقط قرب آفاق الثقوب السوداء، وفي هذه الحالة تبقى النظرية النسبية صالحة بشكل عام. ومن ناحية أخرى، قد يوجد هذا المرجع المفضّل في كلّ مكان وليس فقط قرب الثقوب السوداء، وفي هذه الحالة ستكون النظرية النسبية تقريبا لنظرية أعمق عن الطبيعة. لم يلاحظ التجريبيون إلى الآن مثل هذا المرجع المفضّل، ولكن هذه النتيجة السلبية قد تكون ببساطة ناجمةً عن افتقار التجارب للدقة الكافية.

لقد خامر الفيزيائيين منذ زمن طويل الشعورُ بأن التوفيق بين النسبية العامة والميكانيك الكمومي سيُدخل حدًا خاصا بالمسافات الصغيرة، وقد يكون هذا الحد ذا صلة بمقياس پلانك. ويدعم التشابه الصوتي هذا الشعورَ بأن للزمكان بنية حبيبية نوعا ما، لكي يلطّفَ ذلك من أثر الانزياح اللامتناهي نحو الأحمر المريب.

إذا كان الأمر كذلك لكان التشابه بين انتشار الصوت وانتشار الضوء أفضل حتى ممّا ظنّ به أولا «أونره». وقد يقودنا التوحيد بين النسبية العامة والميكانيك الكمومي إلى تخلّينا عن ذلك التصوّر المثالي لمكانٍ وزمانٍ مستمرّين ومتّصلين، كما يقودنا إلى اكتشاف «ذرّات» الزمكان. ومن الممكن أن تكون أفكار مشابهة قد راودت «أينشتاين» عند كتابته رسالة لصديقه العزيز «M. بيسو» عام 1954، وذلك قبل وفاته بسنة، إذ قال: «أعتبر أنه من الممكن تماما استحالة بناء الفيزياء على أساس مفهوم الحقل field، أي على أساس بنية متّصلة.» ولكن هذا الأمر سيقتلع الأسس الراسخة التي تقوم عليها فيزياء اليوم، وليس لدى العلماء في الوقت الحاضر نظرية واضحة يمكن ترشيحها لتكون بديلا. وفي الواقع، يضيف «أينشتاين»: «وعندها لن يبقى شيء في الهواء، من قلعة إسهاماتي النظرية، بما في ذلك نظرية التثاقل، والأمر سيّان بالنسبة إلى ما تبقّى من الفيزياء الحديثة.» لكن لاتزال القلعة صامدة بعد مرور خمسين سنة على كتابة هذه الرسالة، مع أن مستقبلها ليس واضحا. ومن الممكن أن تكون الثقوب السوداء أو مشابهاتها الصوتية قد بدأت بإنارة الطريق وسبر غوره. ■

(1) أو جملة مرجعية reference frame.

المؤلفان

Theodore A. Jacobson - Renaud Parentani

*يدرسان الغازَ الثقالة الكمومية ونتائجَها القابلة للملاحظة في فيزياء الثقوب السوداء والكوسمولوجيا (علم الكون). **جاكوبسون** هو أستاذ الفيزياء بجامعة ماريلاند وتتركّز أبحاثه الحديثة على ترموديناميك الثقوب السوداء ودراسة إمكانية كون الزمكان ذا بنية منفصلة على المستوى الميكروي، وفيما إذا كان من المستطاع اكتشاف هذه البنية الدقيقة ماكرويا. أمّا **پارنتاني** فهو أستاذ الفيزياء بجامعة پاريس الجنوبية في أورسي، ويعمل في مختبر الفيزياء النظرية التابع للمركز الوطني للأبحاث العلمية في فرنسا (CNRS). وتتركّز أبحاثه على دور التراوحات والتموّجات الكمومية في فيزياء الثقوب السوداء والكوسمولوجيا.*

وهذه المقالة هي ترجمة وتحديث لمقالة كتبها «پارنتاني» ونشرت في عدد الشهر 5 (2005) في مجلة Pour la Sciece، النسخة الفرنسية لمجلة ساينتفيك أمريكان، وهي إحدى أخوات **العلوم**.

مراجع للاستزادة

Trans-Planckian Redshifts and the Substance of the Space-Time River. Ted Jacobson in *Progress of Theoretical Physics Supplement*, No. 136, pages 1–17; 1999. Available (free registration) at http://ptp.ipap.jp/cgi-bin/getarticle?magazine=PTPS&volume=136&number=&page=1-17

What Did We Learn from Studying Acoustic Black Holes? Renaud Parentani in *International Journal of Modern Physics A*, Vol. 17, No. 20, pages 2721–2726; August 10, 2002. Preprint available at http://arxiv.org/abs/gr-qc/0204079

Black-Hole Physics in an Electromagnetic Waveguide. Steven K. Blau in *Physics Today*, Vol. 58, No. 8, pages 19–20; August 2005.

For papers presented at the workshop on "Analog Models of General Relativity," see www.physics.wustl.edu/~visser/Analog/

تتمة الصفحة 63 (داخل دماغ إنسان ذاكرته خارقة)

حياة «كيم» بعد فيلم «رجل المطر»[*]

ليس مستغربا أن تكون ذاكرة «كيم» الضخمة قد أسرت انتباه الكاتب «B. مورو» (حين التقاه صدفة في عام 1984) وألهمته أن يكتب سيناريو الفيلم السينمائي **رجل المطر** *Rain Man*، الذي أدى دور البطل فيه «D. هوفمان» تحت اسم «ريموند بابيت» باعتباره يعاني «متلازمة الذاكرة الخارقة». إن هذا الفيلم السينمائي محض خيال علمي ولا يروي قصة حياة «كيم» ولو بالإجمال. ولكن في أحد مشاهده المستبصرة على نحو لافت يحسب «ريموند» الجذور التربيعية ذهنيا. ويقول أخوه «شارلي» في هذا الصدد: «إنه يجب أن يعمل لحساب ناسا NASA أو شيء من هذا القبيل.» أما بالنسبة إلى «كيم» فإن مثل هذا التعاون قد يحدث فعلا.

أجل، فقد اقترحت الوكالة ناسا نموذجا تشريحيا ثلاثي **الأبعاد** 3-D عالي المَيْز[1] لبنيان دماغ «كيم». ويصف «R. بويل» [وهو مدير المركز NASA BioVis] هذا المشروع كجزء من جهد أكبر يستهدف دمج وترصيع بيانات صور تشكيلة واسعة من الأدمغة قدر الإمكان، ولهذا السبب يعتبر دماغ «كيم» الاستثنائي ذا قيمة خاصة. وينبغي لهذه البيانات، سواء الوصفيّة منها أو الوظيفية، أن تمكّن الباحثين من تحديد مواقع وماهية التغيُّرات الدماغية التي تصحب الفكر والسلوك. وتأمل ناسا أن يمكّن هذا النموذج التفصيلي الباحثين من تحسين مقدرتهم على تأويل خَرْج output منظومات **التصوير فوق الصوتي** ultrasound الأقل كفاءة والتي تؤلِّف النوع الوحيد الذي يمكن حمله الآن إلى الفضاء واستخدامه لمراقبة رواد الفضاء.

لقد برهن نجاح تصوير فيلم **رجل المطر** *Rain Man* والأفلام السينمائية اللاحقة أنه نقطة تحوّل في حياة «كيم»؛ إذ إن هذا الأخير كان قبل ذلك اعتكافيًا ينسحب إلى غرفة نومه حين يأتيه الأصحاب. لكنه بعد الثقة التي اكتسبها من اتصالاته مع صانعي الفيلم، وكذلك من الشهرة التي زوده بها النجاح السينمائي، استلهم ووالده «F. بيك» مشاركة مواهب «كيم» مع عديد من الحضور فأصبحوا رسل حماس لذوي الإعاقات، وبمرور السنوات شارك قصتهم ما ينوف على مليوني شخص إلى ستة ملايين.

إننا نعتقد أن لهذا التحوُّل في حياة «كيم» قابلية تطبيق عامة. فالكثير مما يعرفه العلماء عن الصحة يتأتى من دراسة **الإمراضيات** pathologies، وسيأتي الكثير مما سنتعلمه حول الذاكرة العادية من دراسة الذاكرة الاستثنائية أو الفريدة. وفي الوقت نفسه، فإننا سنتوصل إلى بعض الاستنتاجات العملية لصالح رعاية أشخاص آخرين من ذوي الاحتياجات الخاصة الذين يمتلكون مهارة من مهارات متلازمة الذاكرة الخارقة. إننا نوصي بأن تعمد الأسرة والجهات الأخرى المانحة للرعاية إلى «تدريب الموهبة»[2]، بدلا من نبذ مثل هذه المهارات بوصفها سخيفة، وذلك من أجل ربط من تظهر لديه متلازمة الذاكرة



يشكل العزف على البيانو أحدث مهارة اكتسبها «كيم»، وهي تزداد يوما بعد يوم على الرغم من ضعف التنسيق الحركي لديه. وتشاهد في هذه الصورة إلى جانبه المدرِّسة «A. كريبنان» (جالسة) ووالده، وكلاهما عمل على تشجيع جهود «كيم».

الخارقة بالناس الآخرين وتخفيف تأثيرات إعاقته. إن هذا الأمر ليس بالسبيل السهل، لأن الإعاقة وقيودها تتطلب قدرا كبيرا من التفاني والصبر والعمل الشاق حسبما يبيِّن بشكل مقنع والد «كيم» على سبيل المثال.

هذا ولسوف يمدُّنا المزيد من استكشاف متلازمة الذاكرة الخارقة باستبصارات وقصص علمية ذات اهتمام إنساني شاسع. ويقدم «كيم بيك» أدلة وافرة لكلتيهما. ■

(*) العنوان الأصلي: Life after *Rain Man*

(1) high-resolution

(2) train the talent

المؤلفان

Darold A. Treffert - Daniel D. Christensen

لطالما فتنتهما ظاهرة الذاكرات الخارقة. «تريفيرت» طبيب نفساني في وسكونسن، وقد أجرى منذ عام 1962 أبحاثا على الذاتوية (التوحد) autism ومتلازمة الذاكرة الخارقة، حيث قابل أول مرة أحد الذين يعانون هذا الاضطراب. وكان مستشارا لفيلم رجل المطر، وهو مؤلف كتاب «الناس الاستثنائيون: فَهْم متلازمة الذاكرة الخارقة». أما «كريستنسن» فهو أستاذ عيادات الطب النفسي وأستاذ عيادات علم الأعصاب وأستاذ مشارك للفارماكولوجيا في كلية طب جامعة يوتا. ويركِّز بحثه على مرض الزايمر، لكنه بعد «كيم بيك» انصرف لأكثر من عقدين إلى الاهتمام بمتلازمة الذاكرة الخارقة.

مراجع للاستزادة

The Real Rain Man. Fran Peek. Harkness Publishing Consultants, 1996.

Extraordinary People: Understanding Savant Syndrome. Reprint edition. Darold A. Treffert. iUniverse, Inc., 2000.

Islands of Genius. Darold A. Treffert and Gregory L. Wallace in *Scientific American*, Vol. 286, No. 6, pages 76–85; June 2002.

www.savantsyndrome.com, a Web site maintained by the Wisconsin Medical Society.

Scientific American, December 2005

استدلال مضاد[*]

هل أحد البروتينات الالتهابية هو الكولِّسترول القادم؟

إن تسكين (تهدئة) التهاب ما في الجسم بهدف مكافحة مرض القلب، ربما يكون بنفس أهمية تخفيض الكولسترول في الدم، وفقا لما ذكرته دراستان نُشرتا في الشهر 2005/1. ويرى بعض الخبراء، هذه النتائج على أنها دليل على ضرورة المبادرة بمراقبة، وربما معالجة، الالتهاب عند المرض القلبي، ولكن البعض الآخر لم يقتنع حتى الآن بأن هذا الإجراء قد يطيل من أعمار هؤلاء المرضى.

وقد أصبح معروفا أن الالتهاب يؤدي دور وسيط أساسي في تصلب الشرايين؛ إذ إنه يُلحق الأذى ببطانة جدرانها، كما يسهم في تشكيل اللويحات الدهنية (الشحمية) وتمزقها. ومنذ عام 1997 بدأ <P. ريدكر> [وهو طبيب قلب في مستشفى بريگهام] بملاحظة علاقة بين مرض القلب ومركب التهابي يطلق عليه اسم **البروتين المضاد c** ‏c-reactive protein (CRP). فإذا ما زاد مستوى البروتين CRP أكثر من 2ملغ/ ليتر في الدم على سبيل المثال، أصبحت خطورة النوبات القلبية ثلاثة أمثال النسبة الطبيعية، وتضاعفت خطورة السكتات الدماغية.

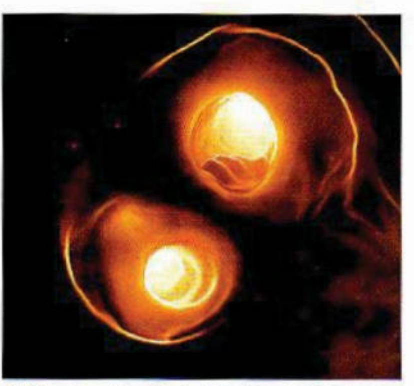
وفي دراستين منفصلتين نشرتا بتاريخ 2005/1/6 **بالمجلة** *New England Journal of Medicine*، قام <ريدكر> و<S. نسن> [الذي يعمل في مستشفى كليفلاند] بدراسة نحو 4300 مريض يعانون مرضا قلبيا شديدا ويتناولون جرعات متوسطة أو عالية من عقارات **الستاتين** statin، بهدف تخفيض نسب الكولسترول لديهم. وتساءل الطبيبان لماذا أظهر بعض هؤلاء المرضى تحسنا أفضل من غيرهم، مع أن الجميع بلغوا النسبة المنخفضة نفسها من الكولسترول LDL (وهو الكولسترول الضار).

وبينما أكد <ريدكر> اكتشافاته الأولية في دراسته الثانية، وجد <نسن> أن هناك علاقة بين خفض مستويات البروتين CRP وتراجع التصلب الشرياني (تصبح اللويحات أصغر)؛ كما وجد، وهو الأهم، أن خفض البروتين CRP له تأثير مفيد ومستقل عن خفض الكولسترول LDL، مما يدل على أن الستاتينات تخفض من مستوى الكولسترول والبروتين CRP معا.

يقول <ريدكر> إن هذه التقارير توضح أن تخفيض مستوى البروتين CRP يعادل على الأقل في أهميته تخفيض الكولسترول، كما تدعم الفكرة القائلة: إن البروتين CRP ليس مؤشرا طبيا لكشف عامل الالتهاب وحسب، وإنما هو عامل مسبب لمرض القلب. ويوافقه <نسن> الرأي قائلا: «يجب علينا مستقبلا أن نهاجم البروتين CRP بالقوة نفسها التي نهاجم بها الكولسترول.» ويعتقد <ريدكر> أن الأشخاص الأصحاء الذين يتصفون بمستويات طبيعية من الكولسترول (بنسبة 130 ملغ/ديسيليتر من الدم)، فيما **تعلو** لديهم مستويات البروتين CRP قد يستفيدون من تناول الستاتينات.. وقد بدأ <ريدكر> فعلا بدراسة جديدة على 15 000 شخص لتحري هذه الإمكانية.

وعلى الرغم من وجود هذه الأدلة القوية، يحذر بعض الخبراء، من أنه من المطلوب إجراء مزيد من الأبحاث لإثبات أن البروتين CRP يسبب التصلب الشرياني بشكل مباشر، أو أنه يجب تناول الستاتينات للسيطرة على البروتين CRP. يقول <D. سيسكوڤيك> [المدير المشارك لوحدة الأبحاث الصحية الخاصة بأمراض القلب والأوعية الدموية في كلية الطب بجامعة واشنطن]: «هذه الدراسات توحي لي بأن الأدوية التي تخفض كلا من الكولسترول LDL والبروتين CRP، قد يكون لها تأثير علاجي أكبر من تلك التي تخفض الكولسترول LDL وحسب، إلا أن هذا لن يغير من الطريقة التي أعالج بها مرضاي.» أما سبب ذلك فيعود إلى أن الستاتينات قد لا تخفض البروتين CRP بشكل مباشر، إنما قد تتدخل في مجرى المسار الالتهابي في الجسم، ومن ثم فإن تراجع الالتهاب ربما هو الذي يخفض من المخاطر القلبية الوعائية، وبهذا يكون البروتين CRP هو مجرد مؤشر إلى حدوث المرض القلبي وليس سببا فيه.

وفي الواقع، إن الآليات التي ترفع مستويات البروتين CRP ليست واضحة تماما، فكثير من العداوى (الأخماج) والأمراض المزمنة كالتهاب المفاصل الرثياني والسمنة والتدخين وارتفاع



رواسب دهنية (شحمية) يطلق عليها اسم اللويحات (*المنطقة المتموجة ذات اللون البرتقالي*)، تشكلت في الأوعية الدموية، كما تبدو في التصوير الطبقي المحوري المحوسب للشريان السباتي عند تفرعه إلى فرعين رئيسيين. قد تحفز هذه اللويحات على إنتاج البروتين المضاد c ‏(CRP)، وهو أحد العوامل المحتملة لحدوث مرض قلبي.

الدهون المؤذية[**]

يرى بعض الباحثين أن مستويات البروتين المضاد c ‏(CRP) ترتفع خلال تطور المرض القلبي، ويعود السبب في ذلك إلى الالتهاب الذي تحدثه اللويحات الدهنية (الشحمية) التي تتوضع على جدران الشرايين الإكليلية (التاجية). ولكن البعض الآخر غير مقتنع بأن هذه الرواسب الدقيقة يمكنها إنتاج الكثير من البروتين CRP. وبدلا من ذلك اعتمدوا الفكرة القائلة بأن الأنسجة الدهنية، وخصوصا تلك الموجودة حول الخصر، تعمل عمل عضو مسبب للالتهاب، حيث تقوم الخلايا البلعمية الكبيرة التي تغزو الأنسجة الدهنية بإرسال إشارات إلى الكبد لإنتاج المزيد من البروتين CRP. فإذا ما ثبت بالفعل أن الخلايا الدهنية تحفز على إنتاج البروتين CRP أكثر مما تحفز عليه اللويحات داخل الشرايين، عندها تكون المستويات العالية من البروتين CRP مؤشرا إلى عوامل خطورة متعلقة بالسمنة أكثر من علاقتها بالمرض القلبي بشكل مباشر.

(*) REACTIVE REASONING
(**) Troublesome Fats

الضغط الشرياني والداء السكري، ترفع جميعها مستوى البروتين CRP. وعندما يخفض أحدهم من وزنه ويمتنع عن التدخين ويضبط مستوى السكر في الدم ومستوى ضغط الدم الشرياني فإن مستويات البروتين CRP لديه تنخفض كذلك، وهذا يثبت أن البروتين CRP هو بمثابة مؤشر إلى وجود تلك المشكلات المترافقة مع الالتهاب.

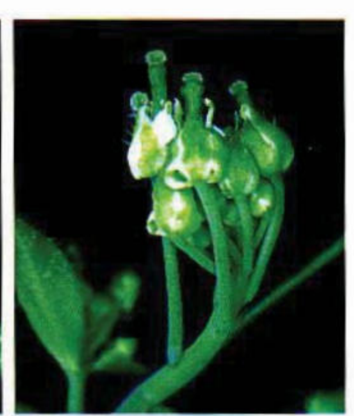
والأهم من ذلك، أن بعض الخبراء يشكون في فائدة البروتين CRP بالنسبة إلى تحري screening المرض في العيادة؛ هذا ما أشار إليه <D. لويد-جونز> [وهو طبيب قلب في جامعة نورث وسترن] قائلا: «إنه لا يساعدني على تحديد مَن من المرضى معرض للخطر ـ من منهم عليَّ أن أعالج أو لا أعالج.» ويعتقد <لويد-جونز> (وهو في ذات الوقت مختص في علم الأوبئة، وكان قد درس عوامل الخطورة في المرض القلبي بعمق) أن هناك تركيزا كبيرا على أن البروتين CRP يمكنه أن يشير إلى درجة خطورة نسبية ذات دلالة إحصائية، لكنه في الواقع لا يضيف شيئا إلى قدرتنا على تمييز الخطورة. فعلى سبيل المثال، بإمكان الأطباء، بنسبة 80%، معرفة من سيصاب مستقبلا بمرض قلبي ومن سينجو منه عن طريق تقدير عوامل الخطورة التقليدية، مثل مستوى الكولسترول والسمنة. وعندما يضاف عامل البروتين CRP إلى هذا المزيج، يردف <لويد-جونز> قائلا: «فإن هذه النسبة تزداد لتصل إلى 81%. قد تبدو هذه النسبة ذات دلالة إحصائية، ولكنها لا تساعدني كطبيب.»

إن وجهة نظر كهذه ستخيّب ـ بلا شك ـ أمل مصنِّعي أدوية الستاتينات الذين مولوا الدراسات الأخيرة. ويضيف <لويد-جونز> «إن لقطار البروتين CRP هذا الكثير من الزخم، ولكن إذا ما أمعنا النظر فيه فلن نجده على المستوى الرفيع الذي يُروَّج له.» ■

<D. مارتينديل>

الرنا (RNA) يهبُّ إلى الإنقاذ(*)

طرز جديدة من التوريث تخل بقوانين مندل.



إن طفرة البتلات الملتحمة (في اليمين)، اختفت في الأنسال التي بدت سوية (في اليسار).

يرتكز المبدأ الأساسي في البيولوجيا المعاصرة على أن المعلومات الوراثية تُورَّث على شكل دنا DNA، يُنسخ إلى رنا RNA، ويُعبر عنه كبروتين، فالصدارة هي للدنا. بيد أن الاكتشاف المثير للإعجاب أن بوسع نوع من النبات أن يستدعي جينات كان آباؤه قد فقدوها، يؤكد اعتراف البيولوجيين المتزايد بالرنا كجزيء حيوي متعدد المهام.

لقد احتل الرنا فعلا مكانته الخاصة بين الجزيئات البيولوجية. فبوسعه اختزان المعلومات الوراثية، تماما كما يفعل الدنا. ولكنه يستطيع أيضا أن يتخذ أشكالا معقدة ثلاثية الأبعاد، وأن يحفز تفاعلات كيميائية، تحدث فيه ذاته، تماما كما تفعل البروتينات. ويقول <R. ريتان> [عالم الوراثة في جامعة كونكتيكوت]: «إن الرنا هو دنا مضاف إليه ستيرويدات. فبوسعه أن ينجز تقريبا أي عمل كيميائي حيوي.» ويحتمل أن تكون الحياة قد بدأت بـ«عالم الرنا»، من حيث إن تسلسلات مُنضَّدة من جزيئات الرنا أنجزت عملين معا: عملت كقالب template جيني، وكماكينة توالدية.

إن النبات *Arabidopsis thaliana* الذي ينتمي إلى فصيلة الخردل، قد يكشف عن طريقة أخرى، استثمرت فيها الحياة قدرة الرنا على الاختزان الوراثي. لقد درست <J .S. لول> و<E .R. پرويت> [من جامعة پيردو] نباتات ملتحمة البتلات تنتمي إلى النوع *Arabidopsis*. إن في مثل هذه النباتات نسختين طافرتين لجينة تدعى هُتْهِد *hothead* (الرأس الساخن)، تختلف عن الجينة السوية بزوج واحد من القواعد bases. ومما يثير الاستغراب أن نسبة ضئيلة من أنسال نباتات

(*) RNA TO THE RESCUE

«لول» و«پرويت» الطافرة ارتدت فيها نسخة واحدة من الجينة مُتْهِد ارتدادا عفويا إلى النسخة السوية، مُصلحةً طفرتها الموضعية. إن مجرد وقوع حادثة واحدة من هذا النمط أمر غير محتمل إحصائيا خارج المستعمرات البكتيرية ذات التوالد السريع. لقد استبعد الباحثان استبعادا منهجيا التفسيرات الروتينية، كالتلقيح المتصالب لنبات طافر بنبات سوي، أو حدوث معدل من الطفر بالغ الارتفاع، أو وجود نسخة أخرى خبيئة من الجينة مُتْهِد.

أضف إلى ذلك، أن طوافر الجينة مُتْهِد تحوي تغيرات في أقسام أخرى من دناها، توافقت كلها مع تسلسلات أجداد أو أجداد أجداد النباتات، ولكن ليس مع آبائها. ويوحي هذا التوافق بأن نسخة مساندة من جينوم أسلاف النبات قد انتقلت بطريقة ما إلى النبات الطافر، وذلك كما أشار الباحثان في تقريرهما الذي نشر في عدد 2005/3/24 من مجلة «نيتشر». فإذا ما صح ذلك، فإن هذه القفزة ستكون إخلالا بالقواعد السوية لعلم الوراثة التي أرساها «گريگور مندل» عام 1865. ولأن الباحثين لم يتمكنا من العثور على تسلسل دناوي يمكن أن يؤدي هذا الدور، فقد اقترحا أن القالب المساند ليس سوى رنا ذي شريطة مزدوجة (يكون الرنا عادة ذا شريطة أحادية). وكما يقول «R. جورگنسن» [عالم النبات في جامعة أريزونا]: «إن الرنا المزدوج الشريطة فعال (ساخن)، وهذا ضروري في تداخلات الرنا، وهي طريقة شائعة لتعطيل فعل الجينات. ولكن لا يوجد أيضا سبب للاعتقاد بأنه ليس جزيئا دناويا، ولا للاعتقاد بأنه يجب أن يكون مزدوج الشريطة.»

وعلى الرغم من ذلك، قد يمثل الرنا آلية ملائمة، ذلك أن الباحثين كشفوا النقاب عن طرق عديدة، يحور بوساطتها الرنا تعبير الدنا أو بنيته، كما أنه قد يفسر إنتاج جزيئات من الرنا لا تترجم إلى پروتينات، بطريقة مازال يكتنفها الغموض. إن أنواعا كثيرة، تشمل نبات *Arabidopsis* والأرز والفأر والإنسان، تنسخ كميات مدهشة من الرنا بدءا من شريطة الدنا الخطأ؛ أي الشريطة المقابلة لتلك التي تعيِّن[1] البروتين. ويقول «د. إيكر» [عالم بيولوجيا النبات في معهد سولك للدراسات البيولوجية في لاهويا بكاليفورنيا]: «لعل جزءا من ذلك القالب مرده إلى تلك الشريطة.» ويرى «إيكر» أن لدى النباتات كثيرا من الإنزيمات التي تستطيع أن تضاعف الرنا، إضافة إلى نظام لنقل المادة الكيميائية بين الخلايا.

ويخمن فريق جامعة پيردو في أن أرشيفا منفصلا قد يوفر حماية في الأيام العصيبة، كالجفاف الطويل، فيضع تحت تصرف النبات جينات كانت قد ساعدت أسلافه على البُقيا. وقد يحمل بهذا المعنى بعض الشبه لخاصة غريبة أخرى، يتميز بها الرنا، وتعرف بإعادة التكويد (*انظر الهامش في اليسار*).

وتتمثل الخطوة التالية في تحديد مدى انتشار آثار هذه الظاهرة. وهناك حالات عصية على التفسير من العودة التلقائية لأمراض وراثية تظهر أيضا لدى الإنسان، مع العلم بأن التواتر الطبيعي لمثل هذه الحادثات مازال غامضا. وسيفاجأ «پرويت»، شأنه شأن باحثين آخرين، إذا ما اقتصرت الآلية على النبات، ويقول: «يصعب الاعتقاد أن شيئا ما له هذه العمومية سوف لا يستمر في كائنات حية أخرى.» ■

«JR. منكل»

إعادة تكويد رناوي(*)

إن طريقة التوريث اللامندلية[2] التي اكتشفت في نبات *Arabidopsis* قد تكون مجرد مثال لمقدرة الرنا على إدخال تنوعات غير موجودة في دنا الكائن الحي. والمثال الآخر هو إعادة التكويد، حيث تبدل الخلية وحدة فرعية واحدة من جزيء الرنا، كانت قد انتسخت من الدنا، فينجم عن ذلك شكل پروتيني مختلف عن ذاك الذي تُعيِّنه الجينة. ولقد وجد المختص بالوراثة «R. ريتان» [من جامعة كونكتيكوت] أن إعادة التكويد تعتمد كليا على بنية ثلاثية الأبعاد لها شكل عقدة أو عروة، يشكلها جزيء الرنا، وليس على تسلسله. ويفترض «ريتان» أن إعادة التكويد، التي لم تلاحظ حتى الآن إلا في پروتينات الخلايا العصبية، قد تقدم للكائنات الحية طريقة لتجريب تصاميم پروتينية جديدة، دون اللجوء إلى إحداث تغيير دائم في جينة حاسمة.

(*) RNA Recoded

(1) specifies

(2) أي لا تتبع قانون مندل في انتقال الصفات الوراثية.

لهب نادر(*)

انفجار مگنيتار[1] يحل بشكل جزئي لغز أشعة گاما.

كان أسطعَ انفجار كوني رُصد حتى الآن، ومازال الفلكيون يجرون نقاشات حاميةَ الوطيس حول منشئه ونتائجه. لكن اللهب الضخم لهذا الانفجار، الذي رُصد في 2004/12/27، والذي ولّده نجم غريب في مجرتنا، درب التبانة، يوفر حلا جزئيا للغز في الفيزياء الفلكية عمره عشر سنوات. فقد تكون مثل هذه الانفجارات الهائلة، التي تحدث في مجرات بعيدة، هي المسؤولة، على الأقل، عن جزء من مجموعة خاصة من انبثاقات لأشعة گاما استعصتْ حتى الآن على التعليل.

وعلى الرغم من بُعد ذلك الانفجار عنا مسافة 50 000 سنة ضوئية، فقد كان أسطع حتى من القمر عندما يكون بدرا. لكنْ لم يره أحد حقا، لأنه قَذَفَ تقريبا كل طاقته الهائلة على شكل أشعة گاما الطاقية energetic التي غمرت القراب Burst Alert Telescope المحمول على الساتل سويفت Swift الذي أطلقته الوكالة «ناسا» للدوران في مسار حول الأرض قبل رصد

(*) RARE FLARE

(1) magnetar: [انظر في هذا العدد: «المگنيتارات: نجوم *فائقة المغنطيسية*»].

اللهب بخمسة أسابيع فقط. ويعلّق <R. ويجرز> [المتخصص في انبثاقات أشعة كاما بجامعة أمستردام في هولندا] على هذا الانفجار بقوله: «لقد كان حدثا مذهلا.»

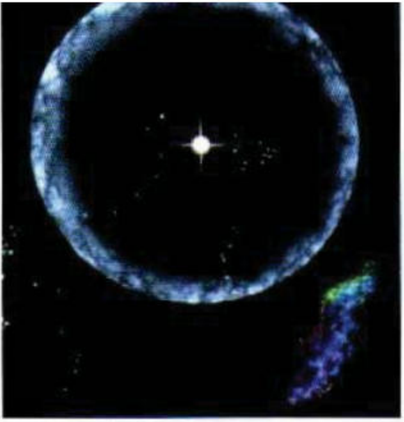
بعد سماع نبأ الانفجار الضخم، لمعت في رأس <D. پالمر> [من مختبر لوس ألاموس الوطني وأحد علماء الساتل سويفت] فكرةٌ مؤداها أنه لو حدث لهب ضخم مشابه في مجرة بعيدة، لتعذّر تمييز هذا اللهب ممّا يُسمّى انبثاق أشعة كاما القصير الأمد، الذي يدوم أقل من ثانيتين أو نحو ذلك. وهذه الانبثاقات القصيرة الأمد مختلفة تماما عن انبثاقات أشعة كاما الطويلة الأمد، التي تدوم من بضع ثوان إلى عدة دقائق. ويعتقد الفلكيون أن الانبثاقات الطويلة الأمد لأشعة كاما، التي اكتُشفت جميعا حتى الآن في المجرات البعيدة تشير إلى الانفجار الكارثي الختامي لنجوم ذات كتل فائقة تدوّمُ بسرعة. بيد أن هذه الآلية المقترحة ربما لا تنطبق على الانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما.

قام <پالمر> بتطوير فكرته واكتشف أن ألسنة اللهب الهائلة تقدّم تعليلا جزئيا على الأقل للانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما. وفي تحليل سيُنشر في المجلة *Nature*، يستنتج <پالمر> وزملاؤه أن من المحتمل جدا تعليل بضعة أجزاء في المئة على الأقل من الانبثاقات القصيرة الأمد بهذه الطريقة. واستنادا إلى السطوع المرصود والتردد المتوقّع لهذه الألسنة العملاقة من اللهب، فإن هذه الأحداث التي يجري بضع عشرات منها سنويا، ستتكرر في مجرات أخرى قريبة نسبيا. ومع أن هذا القدر من الأحداث لا يكفي لتفسير جميع الانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما، فإن <پالمر> يرى أن «خمسة في المئة تقريب جيد.» وهو يقول على سبيل التهكم: «من المحتمل ألاّ يكون هذا العدد بعيدا أكثر من 20 ضعفًا له، وهذا شيء جيد إلى حد ما في مثل هذه المهنة.»

وفيما يتعلق بسبب الانبثاقات القصيرة الأمد الأخرى لأشعة كاما، تقول <C. كوفيليوتو> [من مركز مارشال الفضائي التابع للوكالة ناسا] إن أقوى تفسير لها هو أنها نتيجة اندماج نجمين نيوترونيين كل منهما يدور حول الآخر. لكن <پالمر> يقول: «إن حادث 2004/12/27 جعلنا نؤكد الآن أن اندماجات النجوم النيوترونية ليست مسؤولة عن جميع الانبثاقات القصيرة الأمد لأشعة كاما. أما كونها مسؤولة عن *أي* من هذه الانبثاقات، فهذه مسألة لاتزال مفتوحة للبحث.» ويوافق <ويجرز> على أنه مازال من غير الواضح أن اندماجات النجوم النيوترونية تولّد هذا النوع من انبثاقات أشعة كاما.

ومع ذلك، فمن المحتمل أن تُحَل هذه المسألة قريبا. ويتوقع الفلكيون أن الساتل سويفت، الذي استكمل أداؤه في أوائل الشهر 2005/4، سيحدّد بدقّة المواقع السماوية لعدد من الانبثاقات القصيرة الأمد والمسافات التي تفصلها عنا، وهذا يجعل بمقدور العلماء البدء بمعالجة هذه الظواهر المبهمة. أما <پالمر> فهو متفائل، ويعبّر عن شعوره هذا بقوله: «ربما سلط الانبثاقُ التالي لأشعة كاما الضوءَ على هذه الظواهر.» ■

<G. شيلينك>



يمثل هذا الرسم، الذي أبدعه خيال فنان، اللهب الناجم عن انفجار 2004/12/27، وهو أسطع انفجار شوهد حتى الآن. اللهب منتشر من النجم SGR 1806-20.

انفجار أعظم نوعا ما[*]

حدث انفجار 2004/12/27 ـ وهو أعظم انفجار رُصد حتى الآن ـ في نجم نيوتروني قريب نسبيا، وهو جثة نجم صغير فائق الكثافة. ولهذا النجم، الذي يسمى SGR 1806-20، حقل مغنطيسي أقوى من حقل الأرض المغنطيسي بكوادريليون (10^{15}) مرة، وهذا يجعله قادرا على أن يستلّ مفاتيح سيارتك من جيبك لو كان بُعْدُه عنا بقدر بُعْد القمر عن الأرض. والأكثر احتمالا أن هذا الانفجار نتيجة لزلزال نجمي غيّر فجأة ترتيب الحقل المغنطيسي للنجم. وقد يتكرر هذا ثانيةً لأن الانفجار لم يدمر النجم.

(*) A Pretty Big Bang

احترَقَ مرتين[*]

حين ينفد وقود نجم هرم، فإنه يتمدد ليصبح عملاقا أحمر، ثم ينهار متحولا إلى قزم أبيض. ومن الممكن أن تجتاز بعض الأقزام البيض مرحلة ثانية تتحول فيها إلى عمالقة حمر، لأن الانهيار يضغط الوقود المتبقي ويسخنه، لكن علماء الفيزياء الفلكية توقعوا احتمال استمرار مرحلة العملاق الأحمر الثانية بضعة قرون. وقد أبدى قزم أبيض اشتعل ثانية عام 1996 علامات على أنه سخن مرة أخرى، وهذه إشارة إلى أنه مرّ بمرحلة العملاق الأحمر الباردة. وقد بينت قياسات أُجريت بالمقاريب الراديويّة للنجم المعروف باسم جسم ساكوراي[1]، أو V4334 Sgr، وجودَ جَيَشان لغازات تتأين حول النجم، وهذه ظاهرة تتطلب أن تكون درجةُ حرارته ارتفعت قليلا منذ أواخر التسعينات من القرن العشرين. وربما كان هذا التحول السريع نتيجة امتزاج الأجزاء الداخلية من القزم امتزاجا ضعيفا، وهذا يدفع النجم إلى إحراق الوقود القريب من سطحه فقط، ومن ثم إلى نفاد هذا الوقود ـ وهذه فرضية قدمها الباحثون في جامعة مانشستر ونشروها في مجلة *Science* بتاريخ 2005/4/8. ■

<JR. مِنكل>

(*) TWICE BURNED
(1) Sakorai's object